

# 城市棕地再利用的生态景观修复研究——以长沙新生水泥厂采石坑为例

Ecological Landscape Restoration of Urban Brownfield Reuse: Taking the Quarry Pit of Changsha Xinsheng Cement Plant as an example

张剑飞 沈守云

ZHANG Jian-fei, SHEN Shou-yun

**摘要:** 城镇化进程进入到生态文明时代的今天,资源节约、环境友好、可持续发展成为项目建设中普遍遵守的基本原则。城市中存量土地如城市棕地的再利用成为土地开发利用新的增长点。基于城镇化背景下城市棕地旅游转型再利用的发展契机,以长沙新生水泥厂采石坑旅游开发项目为例,以项目基地高陡峭岩壁生态覆绿工程为研究对象,在综合比较工程技术可行性、成本可控性等因素的前提下,提出以先锋植物苔藓为介质的采石坑高陡峭工程护壁的生物修复措施,突破常规生态覆绿技术如“垂直覆绿”技术存在养护成本偏高、被覆绿界面坡度受限、客土喷播对基面坡度有要求等技术瓶颈,探索了生态景观修复技术新的可能性,为实现城市棕地再利用中生态景观修复的全覆盖与低成本养护的可持续发展途径奠定了一定基础。

**关键词:** 城市棕地;生态修复;采石坑;新生水泥厂

**中图分类号:** TU986

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2641(2020)04-0052-05

**收稿日期:** 2020-05-29

**修回日期:** 2020-07-29

**Abstract:** Currently, the process of urbanization has entered the era of ecological civilization. Resource conservation, environmental friendliness and sustainable development have become basic principles generally observed in project construction. The reuse of urban stock land such as urban brownfield has become a new growth point of land development and utilization. Based on the development opportunity of transformation and reuse of urban brownfield tourism under the background of urbanization, this paper takes the quarry pit tourism development project of Xinsheng Cement Plant in Changsha as an example and the ecological green cover project of high and steep rock wall as research object. Under the premise of comprehensively comparing engineering and technical feasibility, cost controllability and other factors, this paper puts forward bioremediation measures to protect the high and steep wall of quarry pit with pioneer plant moss as the medium. The measures break through the bottleneck of conventional technology “vertical green cover”, which has high maintenance cost, limited slope of covered green interface and slope requirement for sprinkling. The new possibility of ecological landscape restoration technology is also explored, which lays the foundation for realizing the sustainable development way of full coverage and low-cost conservation of ecological landscape restoration in the reuse of urban brownfield.

**Key words:** Urban brownfield; Ecological restoration; Quarry pit; Xinsheng Cement Plant

棕地 (Brownfield) 一词最早于 1980 年美国国会通过的《综合环境应对、补偿与责任法案》中出现,随后其概念在不同国家、地区有不同的阐述,但其所指范围基本一致,即包含废弃钢铁厂、采石场、矿山、军事设施、垃圾填埋场等用地,均属于被开发过的土地,并且都属于

废弃地块,用地性质涉及工业、商业、仓储、基础设施等。伴随城镇化进程的不断推进,适宜再利用的城市棕地又应同时具备以下特点:再开发可以带来一定的经济效益;可以适当改善生态环境;地块具备可再开发利用的条件<sup>[1]</sup>。

针对棕地的生态修复,国际上

比较普遍并有成功先例的方法主要为 2 种:1) 改变棕地的用地性质,将棕地的土地属性变为城市公园绿地,对棕地本身生态破坏较大的区域,以城市建设的思路,将其纳入到公园不同功能分区进行建设。如德国杜伊斯堡公园,直接将棕地中的工业设施、工业场址改造为不同

性质的游戏、冥想、休闲空间,至于生态系统的修复则完全交给大自然,不做额外的人为干涉。2) 针对棕地生态破坏区域,通过土壤换填、改变土壤性质等方式,使受污染的土地再次具备植物生长的条件,然后根据需要进行景观生态种植设计与施工,完全改变棕地原有的状况。如英国伦敦伊丽莎白女王奥运公园,之前是伦敦东端的一个工业区和垃圾倾倒场,在将工业用地转化为公园绿地的前提下,该项目面临的首要问题就是如何通过有效的生态措施,改良土壤受污染的现状,使其适合植被的生长,为建设区域共享绿地奠定前提条件。最终,在生态学家、植物学家、风景园林专家等多学科专业人士的共同努力下,该区域土壤性质得到根本转变,同时实现了低成本养护、仿自然生境生态系统的构建,最终实现了为周边区域提供共享绿色空间的设计目标。

伴随着我国城市化进程的进一步推进与城市产业的优化转型,资源型城市如太原、黄石等区域腾空出许多城市棕地。目前中国针对此类城市棕地,多以改良原有土壤性质、进行景观生态再修复的手段进行再利用<sup>[2]</sup>。2017年《住房和城乡建设部关于加强生态修复、城市修补工作的指导思想》将废弃地的生态景观修复列为修复城市生态、改善生态功能的核心内容<sup>[3]</sup>。但是对于采石坑、矿坑等区域遗留下来的巨型高陡峭受损山体,至多针对重要的核心景观节点,采取局部垂直绿化的方式进行人工干涉。由于垂直绿化对于后期养护管理如定期增加营养液、稳定的供水等方面有一定要求,大多数此类工程因养护经费高等,实施效果都不太好。

因此,针对此类城市棕地中遗留的巨型高陡峭受损山体的生态修复与覆绿的研究具有较为实用、普遍的行业意义。笔者以本人负责的

实际项目为研究对象,从植物的属性甄选、实施技术的打样对比等方面进行了实践研究,提出以无土生长、适应性强、养护成本低为目标导向,并在无土生态修复、低成本养护等方面取得了初步效果。

## 1 长沙新生水泥厂采石坑再利用项目概况

长沙新生水泥厂采石坑旅游开发项目属于城市棕地再利用的一种典型类型。以湘江新区为投资主体,完成了采石坑片区旅游开发主体建筑“冰雪世界”等相关设施的建设(图1)。该采石坑位于长沙市岳麓区坪塘镇山塘村,原为长沙新生水泥厂,是历经50多年开采遗留下来的,深约100 m,长440 m,宽350 m,上口面积达18 hm<sup>2</sup>,底平面面积约为15 hm<sup>2</sup>。采石坑坑底西高东底,最低标高为-41 m、坑口标高为53 m,坑壁坡度为80°~90°。采石坑经多年采集爆破,坑壁部分岩体松动,整体地形地貌无规则。为实现场地整体旅游项目冰雪世界的再开发,针对部分存在安全隐患的岩体进行了工程加固,加固措施以格构梁支护结构和垂直混凝土挡墙2种类型为主。本项目由于工程加固面积大,且集中分布在主体建

筑主视景面的东侧,如何对采石坑现有景观面貌进行合理、有效的形象处理是该项目的关键。

## 2 生态景观修复原则

针对场地情况,设计方提出了2个生态景观修复的基本原则。一是生态原则,即对现状坑壁分布情况按光照、温度、湿度等条件进行分类,提出采用生物修复的措施进行生态景观修复,力图实现修复的最佳效果和最低耗费。二是工业遗迹保护原则,即强调对采石坑工业景观面貌背后城市文明进程的的记忆与文化的关注,并以传统造园因地制宜、写意山水的理念构筑场地整体的景观面貌。

## 3 采石坑景观元素特征分类及设计影响分析

通过现场调研、三维立体扫描等方法对采石坑现场的景观元素进行了特征分类(表1)。

## 4 生态景观修复的技术措施

根据上述修复原则和场地特征的具体情况,生态景观修复的技术措施从植物材料的选择与运用、景



图1 场地现状

表 1 新生水泥厂采石坑景观元素特征

| 区域                  | 面积 (m <sup>2</sup> ) | 朝向 | 近表湿度    | 近表温度   | 是否属于工业遗迹 | 设计影响分析                          | 设计策略   |
|---------------------|----------------------|----|---------|--------|----------|---------------------------------|--------|
| 工程性结构护坡<br>(坡度>80°) | 6 500                | 北  | 69%~82% | -7~54℃ | 否        | 日照时间长, 局部温差变化小                  | 生态景观修复 |
|                     | 17 500               | 西  | 69%~82% | -6~57℃ |          | 日常时间适中                          |        |
|                     | 7 200                | 南  | 67%~80% | -6~56℃ |          | 日照时间短, 局部温差变化大                  |        |
| 自然岩石边坡<br>(坡度>80°)  | 5 700                | /  | /       | /      | 是        | 缺少表层覆土, 坡度陡, 自然生境覆绿周期缓慢         | 完全保留   |
| 自然岩石界面<br>(坡度<15°)  | 4 200                | /  | /       | /      | 否        | 缺少表层覆土, 自然生境覆绿周期缓慢              | 生态景观修复 |
| 水域                  | 120 000 (完成后永久水域面积)  |    | /       |        | 是        | 近水面 0~3.8 m 区域常年湿度大, 对植物选择有特定要求 | 完全保留   |

观效果的经营与创造、工程养护成本的控制 3 个方面进行落实, 重点突出措施的技术可操作性、成本节约性和原生场地的特征性。

4.1 植物材料的选择与运用

根据景观元素的特征分类, 确定以结构性工程护坡、挡墙的陡峭区域 (坡度>80°) 的生态景观覆绿为本项目的核心难点, 对其考虑有四: 1) 此区域面积广, 坡度均大于 80°, 没有土壤附着面, 无法采用技术相对成熟、运用较广的客土喷播方式进行常规植物材料的覆绿工程施工; 2) 如采用立体绿化的方式, 则需要在现状基层上安装龙骨、增加种植槽等前置措施, 不仅大大增加了工程成本, 而且采石坑坑口距坑底近 100 m 的高差和坑底常年有水的现状, 也增加了常规施工的难度; 3) 如采用无干预的自然生态修复方式, 则所需时间漫长, 无法满足“冰雪世界”主题游乐开发对景观效果的时限控制需求; 4) 如采用诸如人工假山塑石等方式, 构建培土区域, 同时确保视觉效果, 其基础的工程建设成本极高。鉴于此, 该区域植物材料的选择要突出无土生长这方面的性能。

通过植物性能的筛选, 选定苔藓植物作为该区域的植物材料, 其突出特点表现在 5 个方面: 1) 种类多。作为自然界先锋植物的苔藓

是仅次于种子植物的高等植物, 其种类丰富, 分布广泛, 全球共有 20 300 余种, 其中藓 (mosses) 有 14 000 余种, 苔 (liverworts) 6 000 余种, 角苔 (hornworts) 300 余种, 中国有苔藓植物 3 400 余种<sup>[4]</sup>。2) 适应性强。因特殊的生理适应机能, 苔藓能在高寒、高温、干旱、弱光等环境中生长繁衍, 能长期忍受干燥和阳光直射, 能生活在裸露的岩石上<sup>[5]</sup>。3) 繁殖快。苔藓具有强大的无性繁殖能力和耐寒能力, 使用成本较低<sup>[6]</sup>。4) 无病虫害。因其营养成分低和次生代谢产物具有昆虫拒食活性, 少有被昆虫摄食<sup>[7]</sup>。5) 生物结皮。苔藓一旦定居, 会加速物质风化速度并累积风尘物质, 从而提高土壤的形成速度, 当有机层达到足够厚度时, 草本和木本植物便可随之入侵生长, 进而自发形成一个复合的生物土壤层, 实现生物技术的生态修复<sup>[8]</sup>。

在此基础上, 选择大灰藓 *Hypnum plumaeforme* (耐高温干旱)、小羽藓 *Haplocladium microphyllum* (喜阴湿)、东亚砂藓 *Racomitrium japonicum* (适应性强) 等种类分别运用在不同光照面的工程护坡墙体上, 并通过适当的混合配置, 提高不同墙体所在区域小气候的适应性。苔藓与墙体的粘结有 2 种, 即通过粘结剂将模块化培养好的苔藓直接黏贴到目标墙体上, 以及将苔藓孢

子体与复合粘结剂混合后喷洒到目标墙体。通过打样示范, 2 种方式各有优缺点 (表 2, 图 2)。通过比较, 设计方建议选择方式二, 以求实施效果的自然。但在实施过程中, 考虑到项目运营周期等综合因素, 业主选择了方式一 (图 3)。

4.2 景观效果的经营与创造

采石坑遗留下来的巨大山水空间, 为毗邻的主体建筑提供了互为关照的场所背景, 从建筑内部观赏这处工业遗址的山水风景, 观赏视角主要是自西向东, 宋代画家郭熙“山得水而活”“水以山为面”的山水画论述是这片风景最贴切的写照。在生态修复的基础上, 场地景观空间氛围的营造以写意山水画的创作理念为指导, 把采石坑观赏视域范围内自北向南的环形界面, 以“咫尺之内, 而瞻万里之遥; 方寸之中, 乃辨千寻之峻”<sup>[9]</sup>的手法, 进行立面的景观创作, 将完全保留的原生岩石山体、人工加固并生态覆绿的山体统筹经营, 以黑松 *Pinus thunbergii* 为点景, 水杉 *Metasequoia glyptostroboides*、黄金间碧竹 *Bambusa vulgaris* ‘Vittata’ 为素材进行纯林背景的表达, 同时突出了坑壁立面山体的主次之分, 形成了“主峰最宜高耸, 客山需是奔趋”的景观效果 (图 4)。

4.3 工程养护技术及成本的控制

该项目在工程施工及日常养护



中,与一般的处理方法相比,体现了较强的成本控制意识,这也是业主单位需要的。传统边坡生态修复有客土喷播、立体绿化两类常用的措施,通常有坡度控制、龙骨支护、载体安装等要求,其全流程的综合成本较高,而且有后期苗木养护与更换的持续成本支出。因此,本项

目在设计之初,综合考虑坑壁坡度陡、无土、项目交付后游客不进入采石坑内等条件,制定了2项技术措施:1)苔藓铺贴后1个月内,在其表面覆盖遮阳网适当减少蒸发,确保藓体稳定生长;2)以横向滴管数量/纵向滴灌量约为4:1的比例,搭建相对均质的网状滴灌系统,保

证高陡峭边坡滴灌系统的全覆盖。因此,在苔藓实现稳定生长的基础上,其成为其他植物种类的生长基质,实现场地生态修复的人工培育型的自然演替。

项目的综合成本主要包括藓体材料费、滴灌系统费、施工措施费以及相关工程通用费用。由于苔藓作为生态系统中先锋材料的特殊性,不需要植物材料的更换、补植。因此,对比传统的生态修复措施,本案具有明显的成本优势。

## 5 实施效果及评价

项目从2019年7月份开始,经过近6个月的全面有效施工,完成了工程进度(图5~6),确保了“冰雪世界”主题游乐场所的顺利开园,初步实现了设计目标。回顾本案设计、施工的全流程,尽管由于多种原因,实施过程中简化了部分设计,但从生态修复层面,对当下城镇化进程中的棕地修复仍具有以下3个方面的启发:

1) 苔藓不仅适合小范围的艺术性庭院点缀,更以其先锋性的植物特征,适合城市棕地再利用过程中复杂、贫瘠环境下的生态景观修复,实现以苔藓为生长基质的生境改良,为多种植被的自发性共生提供基础。

2) 苔藓作为贫瘠环境下生态修复的园林植物,相较现行其他几种垂直覆绿的生态措施,具有一定的成本优势。

3) 对于苔藓的人工培育技术仍有进一步提升的空间。项目实施过程中,采用了目前市场上可以找到的相对成活率最高的人工培育品,其规格为50 cm×50 cm的标准模块。对比园林草坪的人工培育技术,苔藓作为新兴的园林植物,在培育规格(如草坪类草毯)、种类遴选等方面仍具有较大的提升空间。

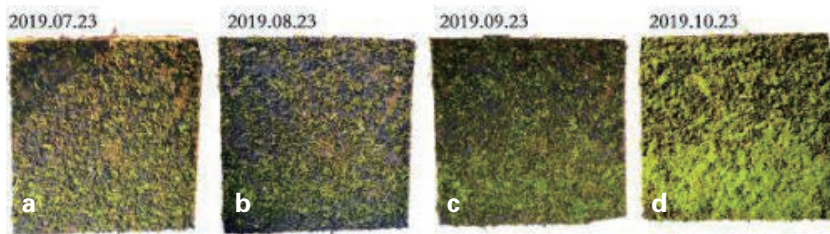


图2 方式二打样实验记录



图3 方式一施工现场

表2 苔藓施工方式特征对照

| 方式类别            | 覆绿效果 | 见效周期    | 后期养护 | 备注                      |
|-----------------|------|---------|------|-------------------------|
| 方式一: 模块化苔藓直接粘结  | 一般   | 施工完     | 零养护  | 两种方式均预敷滴灌管线,确保极端气候的景观效果 |
| 方式二: 孢子体复合黏结剂喷洒 | 自然   | 约30 d见绿 | 零养护  |                         |

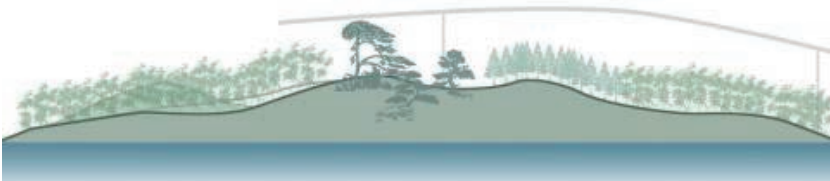


图4 山、水、松、林、路风景结构示意



图5 采石坑岩壁主立面施工后效果



图6 施工后项目鸟瞰

## 6 结语

苔藓作为植物材料的景观运用,目前在风景园林领域几乎集中在小型庭院的艺术点缀等方面,其先锋性的生态特征并未发挥。本案以长沙新生水泥厂矿坑为例,在对矿坑现状岩壁的坡比、受光情况等条件进行调研分析的基础上,提出以苔藓类先锋植物为生态修复的介质,实现城市棕地再生的可持续发展目标。矿坑废弃地的再利用是城市棕地利用的一种典型类型,以棕地生态修复技术为切入点,进行其场地的景观效果营造,具有操作层面的实践意义。作为理论上可行的实践尝试,本案尽管在打样、实施的近期阶段初步实现了设计的既定目标,但长期的生态效果仍有待进一步的跟踪研究。

注:图片均由作者自摄自绘。

### 参考文献:

- [1] 王欢欢,樊海潮.美国“棕色区域”的治理法律介评[J].环境科学与管理,2007,32(7):18-21.
- [2] 宋飏,张新佳,吕扬,等.地理学视角下的城市棕地研究综述与展望[J].地理科学,2019,39(6):886-897.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部.关于加强生态修复城市修补工作的指导思想[EB/OL].(2017-03-06)[2020-04-10].[http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201703/t20170309\\_230930.html](http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201703/t20170309_230930.html).
- [4] 汪发缙,唐进.中国植物志[M].北京:科学出版社,1980:116-128.
- [5] ZHANG P, BAI X L, ZHONG X L. Advances in the Desiccation to Lerpance of Mosses[J]. Chinese Bulletin of Botany, 2005, 22(1): 107-114.
- [6] 王圳,张金池,于水强.退化喀斯特地区植被恢复过程中苔藓的先锋作用[J].南京林业大学学报(自然科学版),2011,5(3):137-140.

[7] 吴秀祯,姜红祥.苔藓植物的化学生态学[J].天然产物研究与开发,2007(19):1073-1078.

[8] 张元明,曹同,潘伯荣.干旱与半干旱地区苔藓植物生态学研究综述[J].2007,2(7):1129-1134.

[9] 孙筱祥.中国山水画论中有关园林布局理论的探讨[J].风景园林,2013(6):18-25.

### 作者简介:

张剑飞/1980年生/男/湖北人/在读博士/湖南省建筑设计院有限公司(长沙410000)/高级工程师/专业方向为风景园林历史与理论、风景园林规划与设计

沈守云/1965年生/男/湖北人/博士/中南林业科技大学(长沙410000)/教授/博士生导师/研究方向为风景园林历史与理论、风景园林规划与设计