

植物在采石矿坑棕地景观再生中的运用 ——以苏州乐园森林世界为例

Application of Plants in the Landscape Regeneration of Quarry Brownfield: A Case Study of Suzhou Paradise Forest World

毛永青 顾亚春* 江南

MAO Yong-qing, GU Ya-chun*, JIANG Nan

摘要: 苏州乐园森林世界位于苏州大阳山, 场地在改造前为采石场, 其地形地貌及植物群落遭到严重破坏。植物景观修复是采石矿坑棕地景观再生的关键。以苏州乐园为例, 从生态修复植被选择原则、植被种类选择、特色化植物群落构建、边坡植被及水体生态植被恢复等方面, 探讨了采石矿坑棕地景观再生中的植物景观营造策略, 总结了在采石矿坑棕地生态改造实践中抗污染性和适宜性较强的植物种类和针对不同矿坑宕口空间地质条件的植物应用经验, 并提出了在棕地改造中营构建适应性强、观赏价值高的植物群落, 优化生境条件, 注重植物的后期养护管理等建议。

关键词: 采石矿坑; 棕地; 景观再生; 植物景观; 生态修复

中图分类号: TU986

文献标志码: A

文章编号: 1671-2641 (2023) 06-0077-06

收稿日期: 2022-08-01

修回日期: 2023-01-18

Abstract: Suzhou Paradise Forest World is located in Danyang Mountain, Suzhou. The site was a quarry before renovation, and its topography and plant communities were severely damaged. Plant landscape restoration is the key to the landscape regeneration of quarry brownfields. Taking Suzhou Paradise Forest World as a case study, this paper discusses the plant landscape creation strategies in the landscape regeneration of quarry brownfields in terms of the principle of vegetation selection for ecological restoration, the selection of vegetation species, the construction of specialised plant communities, vegetation on slopes, and aquatic ecological vegetation, etc. It also summarizes the plant species with strong anti-pollution and appropriateness in the practice of ecological renovation of brownfield landscapes as well as the application of plants in response to the different spatial geological conditions. It also suggests constructing plant communities with strong adaptability and high ornamental value, optimising habitat conditions, and focusing on the post-care management of plants in brownfield rehabilitation.

Keywords: Mining pit; Brownfield; Landscape regeneration; Plant landscape; Ecological restoration

近年来, 伴随着城市的战略转型发展, 工厂企业搬迁遗留下大量的城市废弃地, 即“城市棕地”。而其作为城镇土地资源再利用的潜在价值受到了越来越多的关注, 对于城市的自然生态建设也具有重要意义。矿坑棕地与城市其他用地的区别在于其存在着不同程度的污染, 因而依托场地内植物的生态修复功能, 并采用土壤改良、水体净化等一系列修复性措施, 是实现矿坑棕地的景观和生态再生的首要前提。但对于采石矿坑的植物生态恢复不应局限在场地的单一复绿, 更应该考虑在较长时间动态发展过程中的植物演替, 以构建能自我维持较强稳定性的植物群落为前提, 通过植物搭配塑造多样化空间, 提升场地整体环境风貌。

1 采石矿坑棕地概述

从景观生态学角度来讲, 采石矿坑是人为干扰下的

一种特殊景观类型, 是人类为获得矿产资源而对土地进行剧烈改造的区域^[1]。经历长久且大规模的开采后, 矿坑废弃场地中一般会满目疮痍, 地表形成各种塌陷、空洞、石坑、堆场、沟渠等, 而废料堆砌、山岩裸露、地表植被被破坏使得场地景观异质化严重。因此, 矿坑棕地对当地生态环境造成了较大危害, 存在治理困难、水源污染、易发生地质灾害等众多隐患。只有科学合理的景观和生态恢复才是可持续性地解决此问题的根本方法。当前, 矿坑棕地的景观再生过程主要包括两部分: 首先对采石废弃地进行生态修复与重建, 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^[2], 提升其生态环境的稳定性, 重新建立自然生态的平衡, 满足土地再次利用建设的需求; 其次, 基于场地的特征进行综合的景观改造和提升, 恢复场地活力, 保留住场地文化特色, 重建矿坑景观风貌特色, 使其成为兼具人文精神及活动功能的城

市公共空间。近些年采石矿坑修复的成功案例及理论研究也对本项目具有借鉴意义，如王向荣等^[3]对南宁采石场花园原有的不同废弃采石坑的特征进行分析，设计出不同体验的再生景观；张东等^[4]介绍了南京汤山采石场通过环境生态修复，将休闲、体验、餐饮、环境教育融为一体的矿坑公园设计和施工过程；戎雪等^[5]以南京汤山矿坑公园为例，通过生态恢复技术和景观生态性规划设计原理对矿区废弃地进行生态恢复等。当前的理论研究及实践都强调了对场地生态系统的重视及场地功能的综合性开发，但对于整体性的植物景观空间营造、特色植被种类选择以及改造后环境生态系统可持续性的自然植被恢复的关注都还有所欠缺。

2 植物景观在棕地景观再生中的重要性

构建稳定的植物群落是矿坑棕地生态修复的重要环节，是保证区域生态系统中各类生物的自然循环和稳定发展的关键，同时也是为后续景观营造提供良好的生态基底。植物因其对恶劣环境的较高适应性以及对污染物的吸收作用，在棕地景观重建的初期就担负着至关重要的作用，特别是对于面积较大的矿区，相比于其他修复技术，植物修复的成本较低，植物本身具有吸收污染物、转化污染物以及通过自身的生态化学过程去除污染物等生态优势^[6]。一些能快速适应并改善环境的植物种类，如岩生植物佛甲草 *Sedum lineare*，攀缘植物地锦 *Parthenocissus tricuspidata*，观赏草细叶芒 *Miscanthus sinensis* ‘Gracillimus’、狼尾草 *Pennisetum alopecuroides* 及芳香类植物迷迭香 *Rosmarinus officinalis* 等，叶、形、色俱佳，且养护要求低，可结合矿坑复杂的地形地貌因地制宜进行配置^[7]。还应选用乡土植物，使设计场地具有本土化的特色。矿坑棕地通过植物生态群落的演替发展，让游赏者可以感

受到变化的风景，并形成可持续的生态景观绿地。

当前针对采石矿坑修复的众多研究和实践案例大多将植物作为前期生态修复和环境治理的一环，较少从植物群落丰富性和景观空间多样性的角度考虑整体性的植被结构梳理规划，对各类矿坑棕地的不同场地条件也缺少具有针对性的植物种类选择归纳。因此，在采石矿坑棕地景观再生过程中，植物景观修复是关键，如何有效进行种类选择和植被空间营造是本次研究的主要方向。

3 采石矿坑棕地生态改造实践

苏州乐园森林世界（以下简称“苏州乐园”）位于苏州大阳山，占地面积约 50 hm²，所处位置在改造前为采石场。针对场地作为废弃采石矿坑棕地的属性及周边丘陵地形等特征，设计保留了原有的矿坑、山丘、多级台地等典型地貌，在修复土壤层的同时恢复多维丘陵地形空间，特别是在其生态植被环境修复中，以模拟自然植被群落结构的方式，恢复山体原有

生态植被，形成了丰富多样的生境类型（图1）。

3.1 基址原始地质环境

勘测报告显示，经大规模的开采，基址的原有地形地貌和植被遭到破坏，局部边坡近乎直立，有多处地质灾害隐患点，极易诱发崩塌地质灾害，造成水土流失。区内分布有零星的孤丘残坡和水塘，裸露的矿山与周边自然环境不协调。此外，周边居住区的生活垃圾对矿区及其水体造成污染，严重影响了附近居民的身心健康，还破坏了周边的风景区与城市环境。

3.2 生态治理措施

前期对采石矿坑棕地进行的环境治理和景观修复工程主要采取了以下措施：一方面是通过坡顶及坡面的爆破削坡、人工清坡，设置安全平台以及坡顶、坡面排水沟，其中坡脚排水沟等措施有助于消除地质灾害及其隐患；另一方面通过种植土施工、挂网客土喷播、平台种植、坡脚挡土墙及其内侧填土与绿化（带）种植、边坡养护浇灌系统建设等措施对边坡植被进行恢复。



图1 苏州乐园改造后实景

3.3 景观再生中植物景观修复策略

3.3.1 生态修复植物种类选择原则

1) 抗污染: 针对污染物治理、土壤改良、水体治理、宕口山体修边复绿等不同的侧重点, 选择相应耐旱、耐瘠薄的种类。

2) 适应性: 选择多年生或自播繁衍且适应性强的乡土植物, 可以有效减少在植被重建过程中生态平衡所需的恢复时间。同时在植物运用上, 避免选用入侵物种, 以求在最大程度上恢复场地的原生景观。

3) 多样性: 常绿和落叶树相结合, 针叶树和阔叶树相结合, 常绿树与色叶树相结合, 观花与观果树种相结合, 尽量做到树种多样化, 形成稳定的生态群落。充分利用植物的物候特性, 做到四季有花、四季常青, 营造层次和季相变化丰富的景观效果。

4) 低成本, 低养护: 选用低成本、低养护的观赏草及多年生草本花卉, 富有野趣, 且景观效果良好。

3.3.2 植被种类选择

苏州乐园的植被恢复在保留原有优势乡土树种的同时, 选用根系发达、抗性强、生命力顽强等的植物, 共运用了360种, 其中大乔木72种, 小乔木及大灌木80种, 竹类11种, 藤本植物21种, 灌木地被161种, 水生植物15种。

上层大乔木包含23种常绿乔木和49种落叶乔木。苏州乐园的生态修复保留了山体原有部分植被, 并选择与场地、气候和设计愿景相契合的抗性强的乡土乔木, 如

常绿阔叶树樟、荷花木兰、女贞等和常绿针叶树雪松 *Cedrus deodara*、柳杉等, 搭配不同色系的落叶色叶乔木二球悬铃木、朴树、乌桕、无患子、黄连木等, 呈现出丰富的季相景观。

中层大灌木和小乔木包含常绿植物24种, 如木樨、石楠、含笑花等; 落叶植物56种, 如春花有玉兰、紫荆 *Cercis chinensis*、碧桃 *Prunus persica* 'Duplex'、紫丁香等, 夏花有石榴、紫薇、木槿、木芙蓉 *Hibiscus mutabilis* 等, 秋色叶有枫树类, 冬天有梅花类、山茶等。这些植物观赏效果好且抗污染效果较强。

灌木地被的种类包含抗性较强的绣线菊类、火棘 *Pyracantha fortuneana*、杜鹃类、红瑞木 *Cornus alba* 等, 和草本类的常夏石竹(羽瓣石竹) *Dianthus plumarius*、石蒜 *Lycoris radiata*、鸢尾 *Iris tectorum*、美女樱 *Glandularia × hybrida*, 美丽月见草 *Oenothera speciosa*、麦冬 *Ophiopogon japonicus* 等。

同时, 抗污染植物种类的选择针对了场地及周边环境的具体污染物类型^[8](表1~2), 如场地存在二氧化硫、氯气等有毒气体, 水质富营养化, 含有较多污染物和重金属等。根据现场实际生长情况, 以上植物生长良好。

3.3.3 特色化植物群落构建

苏州乐园以森林世界为主题打造依山傍水的乐园, 以丰富的植被景观营造独具一格的森林体验式景观游线, 通过不同类型植物配置, 结合各类的主题游乐项目, 形成了六大主题景观分区: 欢聚时刻之森灵树广场、舞蹈

表1 苏州乐园抗污染植物

有毒气体 抗性		植被种类
二氧化硫	强	槐 <i>Styphnolobium japonicum</i> 、刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i> 、朴树 <i>Celtis sinensis</i> 、黄山栎 <i>Koelreuteria bipinnata</i> 'integrifoliola'、麻栎 <i>Quercus acutissima</i> 、杜英 <i>Elaeocarpus decipiens</i> 、桑 <i>Morus alba</i> 、女贞 <i>Ligustrum lucidum</i> 、深山含笑 <i>Michelia maudiae</i> 、旱柳 <i>Salix matsudana</i> 、柳杉 <i>Cryptomeria japonica</i> var. <i>sinensis</i> 、枫杨 <i>Pterocarya stenoptera</i> 、白皮松 <i>Pinus bungeana</i> 、合欢 <i>Albizia julibrissin</i> 、黄连木 <i>Pistacia chinensis</i> 、无患子 <i>Sapindus saponaria</i> 、梓 <i>Catalpa ovata</i> 、柿 <i>Diospyros kaki</i> 、垂柳 <i>Salix babylonica</i> 、乌桕 <i>Triadica sebifera</i> 、榆树 <i>Ulmus pumila</i> 、皂荚 <i>Gleditsia sinensis</i> 、枣 <i>Ziziphus jujuba</i> 、二球悬铃木 <i>Platanus × acerifolia</i> 、樟 <i>Camphora officinarum</i> 、重阳木 <i>Bischofia polycarpa</i> 、木槿 <i>Hibiscus syriacus</i> 、紫藤 <i>Wisteria sinensis</i> 、玉兰 <i>Yulania denudata</i> 、紫薇 <i>Lagerstroemia indica</i> 、石楠 <i>Photinia serratifolia</i> 、蚊母树 <i>Distylium racemosum</i> 、石榴 <i>Punica granatum</i> 、木樨 <i>Osmanthus fragrans</i> 、栀子 <i>Gardenia jasminoides</i> 、龙柏 <i>Juniperus chinensis</i> 'Kaizuka'、紫丁香 <i>Syringa oblata</i> 、山楂 <i>Crataegus pinnatifida</i>
	强	荷花木兰 <i>Magnolia grandiflora</i> 、女贞、龙柏、柳杉、棕榈 <i>Trachycarpus fortunei</i> 、构 <i>Broussonetia papyrifera</i> 、桑、朴树、梓、二球悬铃木、合欢、榆树、皂荚、刺槐、槐、麻栎、栗 <i>Castanea mollissima</i> 、玉兰、紫薇、木樨、蚊母树、夹竹桃 <i>Nerium oleander</i> 、无花果 <i>Ficus carica</i> 、山茶 <i>Camellia japonica</i> 、日本珊瑚树 <i>Viburnum awabuki</i> 、胡颓子 <i>Elaeagnus pungens</i> 、木槿、石榴、海桐 <i>Pittosporum tobira</i> 、构骨 <i>Ilex cornuta</i> 、凤尾丝兰 <i>Yucca gloriosa</i> 、栀子、黄杨 <i>Buxus sinica</i> 、大叶黄杨 <i>Buxus megistophylla</i>
氟化氢	强	龙柏、樟、女贞、柳杉、棕榈、合欢、榆、刺槐、槐、皂荚、朴树、桑、梓、玉兰、白花泡桐 <i>Paulownia fortunei</i> 、梧桐 <i>Firmiana simplex</i> 、垂柳、乌桕、日本珊瑚树、木樨、山茶、夹竹桃、石榴、紫薇、木槿、海桐、大叶黄杨、栀子、黄杨、紫藤
	强	黄杨、大叶黄杨、凤尾丝兰、无花果、构
二氧化氮	强	白花泡桐、桑、构、无花果、石榴
	强	夹竹桃、枫杨
苯并芘	强	夹竹桃、海桐、苏铁 <i>Cycas revoluta</i> 、大叶黄杨
	强	紫薇、夹竹桃、木樨、含笑花 <i>Michelia figo</i>

时刻之藤蔓森林、休憩时刻之水雾森林、乐活时刻之涂鸦森林、狂欢时刻之冻原森林、探秘时刻之黑暗森林。

与乐园主题相呼应的植物景观设计总体以恢复山林植被，弱化主题分区，形成连续片区森林为主要方向。在重要景观节点点缀特型景观树，如朴树、乌桕等，叶形奇特，高低错落，在种类多样化的同时结合地形及挡墙，营造垂直森林植物群落感，形成围合的森林小空间（图2）。苏州乐园的绿化种植主要分为三大特色森林片区（图3），选用了不同的特色植物打造人工植物群落：

1）丛林森林

丛林森林区域将以丛生朴树、丛生樟、丛生黄连木为主的乔木片林作为沿道绿化，形成茂密的骨架绿化；以森林树广场作为乐园的主要入口区域，采用丰富且多层次的植物组团，加上特色点景的丛生大树及大型仿真加拿利海枣 *Phoenix canariensis*，塑造森林入口形象（图4）。

2）阔叶森林

其中的水雾区选用青冈 *Quercus glauca*、木荷 *Schima superba*、深山含笑、苦槠 *Castanopsis sclerophylla*、樟等阔叶乔木作为背景林，在不同的游乐片区中打造特色主题植物区域。藤蔓区以攀缘植物、寄生藤本的运用增加地被覆盖率及绿量，结合采石场山体选择古榆树及美国山核桃 *Carya illinoensis* 来营造具有山林野趣的登山步道，在幻境漂流区选用多种棕榈科植物来营造热带雨林风情景观（图5）。

3）针叶森林

针叶森林区域以柳杉、墨西哥落羽杉 *Taxodium mucronatum*、湿地松 *Pinus elliottii*、马尾松 *Pinus massoniana*、黑松 *Pinus thunbergii* 等高耸的针叶树为骨干树种，采用针叶、阔叶结合的构建模式，打造出“冻原森林”及“涂鸦森林”所要展现的茂密山林景观，同时高耸的常绿针叶林也能较好地裸露的矿坑石壁进行遮蔽（图6）。

表2 苏州乐园水生植物的污染物去除能力

植物种类	生态类型	污染物去除能力
香蒲 <i>Typha orientalis</i>	挺水	净化BOD、氮、藻毒素、重金属、农药、富营养化水体、硝态氮
莲 <i>Nelumbo nucifera</i>	浮水	净化叶绿素a、氮、磷，吸附重金属
美人蕉 <i>Canna indica</i>	挺水	耐盐碱，净化污染物
水葱 <i>Schoenoplectus tabernaemontani</i>	挺水	吸收降解酚、吡啶、苯胺、农药，净化COD、氮、磷
睡莲 <i>Nymphaea tetragona</i>	浮水	净化氮、磷、COD，抑制铜绿微囊藻生长
金钱蒲 <i>Acorus gramineus</i>	挺水	抑制藻类生长，去除COD、氨氮、氯化物
狐尾藻 <i>Myriophyllum verticillatum</i>	沉水	吸收DNT、TNT等化合物，抑制藻类生长
风车草 <i>Cyperus involucratus</i>	挺水	净化氮、磷，抑制藻类生长
芦苇 <i>Phragmites australis</i>	挺水	有效处理含蒎类、蒎萜等多环芳烃化合物的废水
黄菖蒲 <i>Iris pseudacorus</i>	挺水	增强水体透明度，降低盐度，抑制水体pH值的上升和藻类生长



图2 苏州乐园特色化植物群落



图3 苏州乐园植物群落分区

3.3.4 边坡植被恢复

苏州乐园采石场岩性主要为石灰岩,坡面稳定性差,土体松散、透水性强、强度低,吸水后容易软化,固结性差等。针对采石场的客土造林,选择适宜的植物种类是生态修复成功的关键。苏州乐园山体修复采用挂网和混凝土喷播覆绿等多种生态工法,通过种植紫穗槐 *Amorpha fruticosa*、迎春花 *Jasminum nudiflorum*、叉子圆柏 *Juniperus sabina*、紫叶小檗 *Berberis thunbergii* ‘Atropurpurea’等灌木状地被,和自播繁衍能力强

的秋英 *Cosmos bipinnatus*、大花金鸡菊 *Coreopsis grandiflora*、诸葛菜 *Orychophragmus violaceus*等草本花卉,以及攀缘性强的薛荔 *Ficus pumila*、胡枝子 *Lespedeza bicolor*、地锦、常春藤 *Hedera nepalensis* var. *sinensis*等藤本植物,形成立面绿化效果;靠近挡土墙种植攀缘或悬挂植物,覆盖裸露岩壁。同时,将原本裸露的山体进行复绿,并划定为山林保育区,减少人为干扰,加快形成乡土植物种类多样的乡土森林群落(图7)。

3.3.5 水体生态植被恢复

苏州乐园原采石宕口内自然形成水域是重要的生态修复区域,种植滨水植被可以柔化岸线边界,形成生态驳岸,极大程度促进滨水岸带的生态恢复,人工建立湿地系统;种植浮水或挺水的金属耐性植物或超富集植物,以达到净化水体污染的作用。同时,通过保留水中的小岛、增加滨水休闲慢行步道、宕口山体复绿等措施,创造具有明显山林湖泊特征的滨水游憩空间(图8)。

4 结论与讨论

苏州乐园的采石矿坑棕地生态改造将植物的生态修复作为主要的景观再生手法,构建具有多样性且稳定的植物生态群落,并通过景观植物的合理配置,形成了特色化森林体验景观场景。

如何在尊重不同场地条件,考虑植物造景与生态平衡的同时,进行适生植物种类的选择和植被群落营造,是采石矿坑棕地生态修复与景观再生的关键。在采石场的生态修复和棕地改造中,应多重视和挖掘本土植物中适应性强、抗性且兼具观赏价值的植物种类,使其在生态修复中得到更好的运用。在植物景观设计中应把握植被演替规律,构建适应性强、观赏价值高的植物群落,优化生境条件,保护生物多样性,营造生态且富有魅力的矿坑棕地再生景观;同时注重植物的后期养护管理,实现景观的可持续性。期望通过棕地修复,再次恢复场地中人与自然的的关系,带动城市更新与地区复兴,实现城市生态的良性循环。

注:图片均为作者自绘自摄

参考文献:

- [1] 刘海龙. 采矿废弃地的生态恢复与可持续景观设计[J]. 生态学报, 2004(2): 323-329.
- [2] 张剑飞, 沈守云. 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[J]. 广东园林, 2020, 42(4): 52-56.



图4 森林树广场区

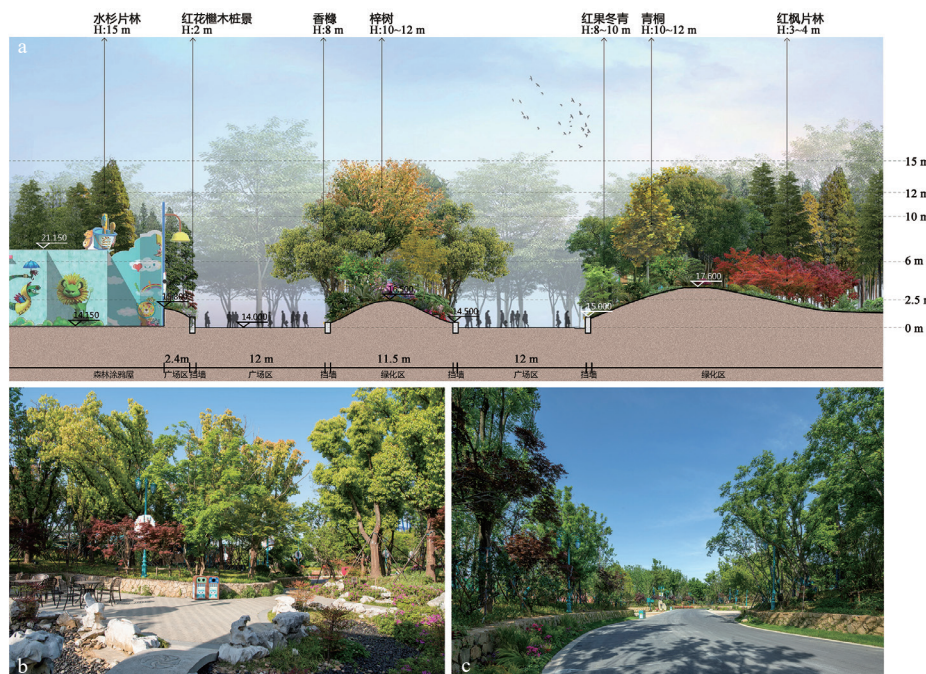


图5 阔叶森林区

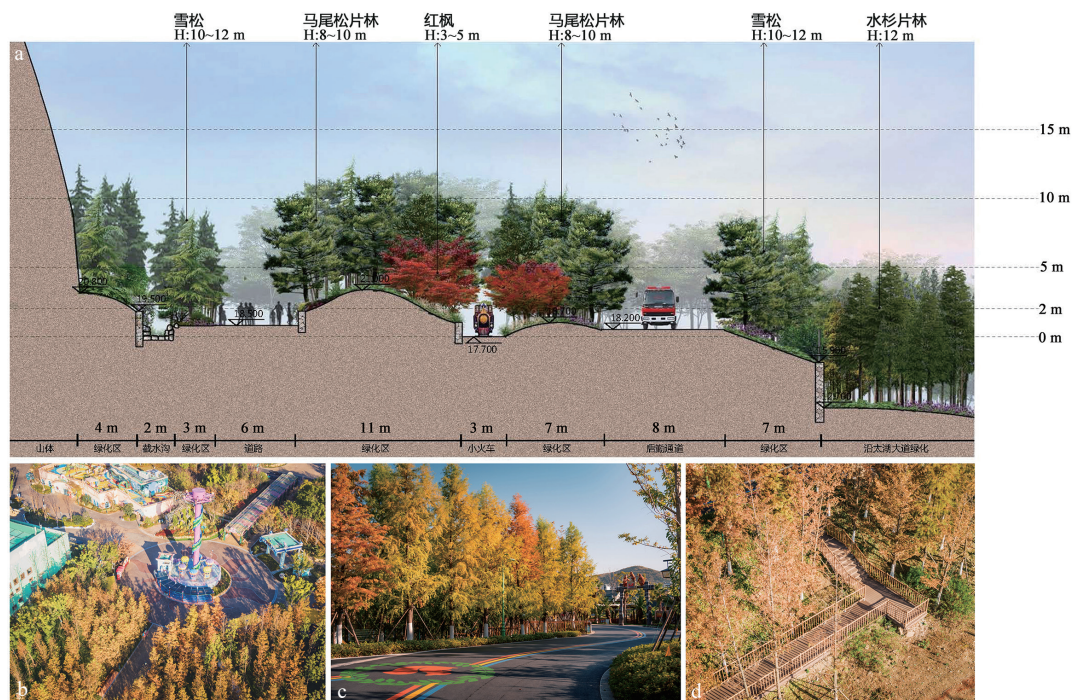


图6 针叶森林区



图7 改造后的山体边坡



图8 矿坑植被修复实景

- [3] 王向荣, 林箐. 从断崖残石到山水画卷: 第十二届中国(南宁)国际园林博览会园博园采石场花园设计[J]. 风景园林, 2019, 26(4): 61-72.
- [4] 张东, 唐子颖. 南京汤山矿坑公园生态修复与景观设计[J]. 中国园林, 2019, 35(11): 5-12.
- [5] 戎雪, 祝遵岐. 基于生态修复的矿坑公园景观设计研究-以南京汤山矿坑公园为例[J]. 大众文艺, 2020(4): 39-40.
- [6] 林慧颖, 李成丰. 矿业棕地生态修复与特色化景观改造研究——以太原西山国家矿山公园为例[J]. 工业设计, 2020(9): 91-92.
- [7] 盛卉. 矿山废弃地景观再生设计研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2009.
- [8] 周君丽. 新乡20种绿化树木单叶滞尘量分析[J]. 广东农业科学, 2013(20): 47-49.

作者简介:

毛永青/男/1976年生/江苏苏州人/硕士/启迪设计集团股份有限公司景观院(苏州215000)/高级工程师/专业方向为景观规划

(*通信作者) 顾亚春/女/1986年生/江苏连云港人/硕士/启迪设计集团股份有限公司景观院(苏州215000)/高级工程师/专业方向为园林景观/E-mail: guayachun@126.com

江南/女/1989年生/湖北孝感人/硕士/启迪设计集团股份有限公司景观院(苏州215000)/中级工程师/专业方向为城市规划