

市政边坡工程中生态防护技术的应用现状与发展趋势

周国润

五冶(广州)建设发展有限公司

DOI:10.32629/etd.v6i11.17514

[摘要] 本文全面梳理了当前主流的生态防护技术(包括植被防护、生态袋/植生毯技术、三维植被网/土工格室技术、喷混植生技术及综合生态工程技术)的应用原理、适用条件及典型案例。在此基础上,深入剖析了当前应用中存在的植物选型不当、长期稳定性不足、维护管理缺失、成本效益评估体系不健全等核心问题。最后,文章前瞻性地探讨了市政边坡生态防护技术的未来发展趋势,即智能化与数字化赋能、功能复合化与景观艺术化融合、材料绿色低碳化以及全生命周期管理理念的深化,并提出了相应的对策建议,以期为推动我国市政边坡工程的高质量、可持续发展提供理论参考与实践指导。

[关键词] 市政边坡; 生态防护; 植被恢复; 可持续发展; 智慧边坡; 全生命周期管理

中图分类号: TU986.2 **文献标识码:** A

Current Application Status and Development Trends of Ecological Protection Technologies in Municipal Slope Engineering

Guorun Zhou

MCC (Guangzhou) Construction Development Co., Ltd.

[Abstract] This paper comprehensively reviews the application principles, suitable conditions, and typical cases of current mainstream ecological protection technologies, including vegetation protection, ecological bag/vegetation blanket technology, three-dimensional vegetation net/geocell technology, spray-mix planting technology, and comprehensive ecological engineering technology. Based on this, it deeply analyzes the core problems in current applications, such as inappropriate plant selection, insufficient long-term stability, lack of maintenance management, and an imperfect cost-benefit evaluation system. Finally, the paper prospectively explores future development trends of ecological protection technologies for municipal slopes, namely the empowerment of intelligence and digitalization, the integration of functional compositeness and landscape artistry, the greening and low-carbonization of materials, and the deepening of the whole-lifecycle management concept. Corresponding countermeasures and suggestions are proposed to provide theoretical references and practical guidance for promoting the high-quality and sustainable development of municipal slope engineering in China.

[Key words] Municipal Slope; Ecological Protection; Vegetation Restoration; Sustainable Development; Smart Slope; Whole-Lifecycle Management

引言

边坡是工程活动与自然地形相互作用产物,市政边坡是城市建设中因各类活动形成的人工斜坡,规模小但数量多、分布广,关乎居民安全、生活品质与城市形象。长期以来,我国边坡工程依赖传统刚性防护技术,虽能控制浅层失稳、保障短期安全,却破坏生态系统、缺乏韧性、外观与城市理念不符^[1]。21世纪以来,尤其是党的十八大后,生态文明思想深入人心,国家政策要求提升城市生态修复能力,生态防护技术应运而生并快速发展。其核心是模仿自然生态系统,构建复合生态系统以实现多重目

标,是多学科交叉融合产物。本文旨在系统梳理市政边坡生态防护技术应用现状,深入分析挑战,展望发展趋势,为相关科研、设计与施工人员提供参考。

1 市政边坡生态防护技术的应用现状

当前,应用于市政边坡的生态防护技术已形成一个较为完整的体系,可根据技术复杂度和适用条件分为以下几类:

1.1 植被防护技术

这是最基础、经济的生态防护形式,通过种草、铺草皮、液力喷播、栽植灌木小乔木等方式实现。其机理是利用植物根系

加筋和锚固土体,增强抗剪强度,茎叶拦截降雨、减缓径流,抑制水土流失。适用于坡度较缓(一般小于1:1.5)、土质良好的边坡,如城市公园缓坡、住宅小区微地形处理等。直接播种本地适生草种或铺草皮就能取得良好效果,优势是成本低、施工简便、景观自然和谐,但防护能力有限,仅适用于低矮、地质稳定的土质边坡,面对复杂环境则效果不佳。

1.2生态袋/植生毯技术

二者是柔性容器防护的先进代表,解决了无土或少土基质快速建立植被覆盖的难题。生态袋由可降解材料制成,透水透气,填充种植土等后堆叠成柔性挡土结构,植物根系穿透袋体与坡面结合,适用于高度不超过5米的小型填方边坡或挡墙工程^[2]。植生毯以天然纤维为基底,固定并植入草种,直接铺设于坡面,能迅速覆盖地表,防止初期种子和土壤流失,为幼苗提供保护与养分,在河道岸坡、城市主干道两侧路堑边坡等快速绿化场景应用广泛。不过,生态袋长期耐久性受紫外线老化影响,植生毯对坡面平整度要求高、防护深度有限。

1.3三维植被网/土工格室技术

引入三维立体结构,为植物生长创造良好微环境,提升坡面力学性能。三维植被网由热塑性树脂制成多层蓬松网垫,铺设后网包蓄积土壤、水分和养分,植物根系与网垫交织形成复合防护层,广泛应用于高速公路、铁路及城市快速路两侧的土质或强风化岩边坡。土工格室呈蜂窝状,由高强度材料焊接而成,展开锚固后填充种植土并植被建植,其侧向约束力强,能阻止填充物料位移,可胜任坡度达60°以上的填方边坡防护,在软土地基处理中也有价值。这类技术兼具工程加固与生态恢复功效,但材料成本高、施工工艺要求严格,固定不牢或施工粗糙时遇强降雨易被冲毁。

1.4喷混植生(客土喷播)技术

是处理高陡岩石边坡最有效、普适的手段。将种植土、有机质、粘合剂等组分按比例混合,用高压喷播设备喷射到清理和锚固后的岩石坡面,形成5至15厘米厚的客土层,为岩石表面提供植物生存基质。其成功依赖客土配方科学合理和植物种类精准搭配,优势是适用范围广,能攻克岩石边坡无土、干旱、贫瘠等难题,实现“石头上种草”。但一次性投入成本高,对后期养护,尤其是初期灌溉管理依赖性强,养护不到位易导致工程失败。

1.5综合生态工程技术

面对复杂市政边坡,单一技术难以满足多重目标,多种技术组合应用成为主流。这种技术扬长避短,实现防护效能最大化。例如,高陡岩石边坡先挂网结合喷混植生技术进行基础覆盖,再在坡脚等位置栽植深根性乡土灌木或小乔木,形成“草-灌-乔”立体复层植物群落,丰富生物多样性,增强边坡长期稳定性。又如,城市河道生态护岸工程将格宾石笼与植生袋、水生及湿生植物种植结合,构建多功能复合生态系统。集成创新是未来市政边坡生态防护技术发展的核心方向。

2 当前应用中存在的主要问题与挑战

尽管生态防护技术取得了长足进步,但在实际的市政工程

应用中,仍面临诸多亟待解决的问题。

2.1植物选型的科学性与适应性不足

许多项目在植物选择上存在盲目性,过分追求“四季常绿”或“花开繁茂”的即时景观效果,而忽视了植物的生态习性、根系特性、抗逆性(耐旱、耐贫瘠、抗病虫害)及其与当地气候、土壤条件的匹配度。结果往往是初期生长旺盛,但数年后因无法适应恶劣的边坡环境而大量死亡,导致防护功能失效,形成“一年绿、二年黄、三年光”的尴尬局面。

2.2长期稳定性与耐久性存疑

生态防护系统的稳定性是一个动态过程。初期主要依赖工程措施(如网、袋、格室),后期则依赖植物根系的固土作用。然而,从工程措施失效到植物根系完全发挥作用之间存在一个“空窗期”,在此期间系统最为脆弱。此外,植物群落会随时间演替,若缺乏科学引导,先锋物种可能被竞争力更强但固土能力更弱的物种取代,反而降低了防护效能。如何确保生态防护系统在10年、20年甚至更长时间尺度上的持续有效,是当前研究的薄弱环节。

2.3后期维护管理严重缺失

“重建设、轻管护”是普遍存在的顽疾。许多市政项目在完成施工验收后,便缺乏系统、持续的养护计划。边坡植被需要定期的灌溉(尤其在干旱季节)、施肥、修剪、病虫害防治以及外来入侵物种的清除。一旦管护缺位,再好的设计和施工也会功亏一篑。这不仅造成了前期投资的巨大浪费,也损害了公众对生态工程技术的信心。

2.4成本效益评估体系不健全

相较于传统刚性防护,生态防护的初期造价往往更高。然而,其带来的生态效益(如碳汇、生物多样性、空气净化)、社会效益(如景观提升、市民福祉)和长期经济效益(如降低维护成本、延长使用寿命)却难以量化。缺乏一套科学、公认的全生命周期成本效益(LCCA)评估体系,使得决策者在方案比选时倾向于选择看似“便宜”的传统方案,阻碍了生态技术的推广应用。

3 市政边坡生态防护技术的发展趋势

面向未来,市政边坡生态防护技术将朝着更加智能、高效、美观和可持续发展的方向发展。

3.1智能化与数字化赋能

物联网(IoT)、大数据、人工智能(AI)等新一代信息技术正以前所未有的深度和广度融入边坡生态防护领域,催生出“智慧边坡”这一全新范式。未来的市政边坡将不再是被动的工程构筑物,而是具备感知、分析和响应能力的智能生命体。通过在边坡的关键部位布设土壤湿度、温度、含水率、微位移以及气象等各类传感器,可以构建起一个实时、动态的监测网络,精准掌握边坡的物理状态和植被生长的微环境。这些海量数据将被汇集到统一的大数据平台,结合历史气象、地质背景和植被生长模型,利用人工智能算法进行深度学习和风险预测,不仅能对潜在的失稳风险发出早期预警,还能智能生成最优的灌溉、施肥等精细化养护指令^[3]。更进一步,通过构建边坡的数字

孪生(DigitalTwin)模型,可以在虚拟空间中对设计方案进行反复仿真与优化,并对建成后的边坡实施全生命周期的可视化、精细化管理,从而实现从“经验驱动”向“数据驱动”的根本性转变。

3.2 功能复合化与景观艺术化深度融合

未来的市政边坡将超越其单一的工程安全属性,转型为集安全、生态、文化、休闲于一体的多功能城市活力空间。在功能层面,边坡将被赋予更多元的角色。它可以集成海绵城市理念,成为雨水收集、滞留、渗透和净化的载体;其表面可以铺设小型光伏发电板,为周边设施提供清洁能源;还可以嵌入昆虫旅馆、鸟类栖息巢箱等微生境模块,主动为城市生物多样性贡献力量。在美学层面,边坡将成为展现城市文化与艺术魅力的重要画布。设计师们将借鉴大地艺术(LandArt)的理念,通过对不同色彩、质感、季相变化的乡土植物进行精心配置与布局,在广阔的坡面上创作出富有地域文化特色和时代精神的图案、符号或抽象意境。无论是利用彩叶地被植物拼出的城市徽标,还是通过乔灌木的层次搭配营造出的“垂直森林”景观,都将使原本冰冷的工程边坡转变为市民乐于亲近、驻足欣赏的城市风景线,真正实现工程与艺术的完美交融。

3.3 材料绿色低碳化与循环利用

在国家“双碳”战略目标的引领下,生态防护材料的研发与应用将坚定不移地走向绿色、低碳和循环之路。一方面,将大力推广使用椰纤维、秸秆、竹材、菌丝体等天然可再生资源,替代部分源自石油化工的合成材料,用于制造植生毯、生态袋等产品,从源头上降低碳足迹。另一方面,积极探索建筑垃圾资源化的有效路径,将经过严格分拣、破碎和无害化处理的建筑拆除废弃物(如再生骨料、再生砖粉)作为客土喷播的骨架材料或土工格室的填充介质,实现“变废为宝”,既减少了对天然砂石资源的开采压力,又为城市固废找到了一条高附加值的出路^[4]。此外,前沿材料科学的研究也将聚焦于开发具有自修复功能的新型粘合剂或土壤改良剂,当客土层因干缩或冻融出现微裂缝时,内置的微胶囊能够自动释放修复成分,弥合裂缝,从而显著延长整个生态防护系统的服役寿命。

3.4 全生命周期管理理念的深化

全生命周期管理(LCA)的理念将从口号走向实践,贯穿于市

政边坡生态工程的每一个环节。在规划设计的初始阶段,工程师和生态学家就必须协同工作,不仅要考虑边坡的即时安全与美观,更要前瞻性地评估其在未来数十年间的维护便利性与成本,优先选择那些低维护、能自我维持的乡土植物群落配置方案。在施工建造阶段,将大力推行标准化、模块化的工艺流程,以确保工程质量的一致性和可靠性。到了至关重要的运营维护阶段,则需要从根本上创新管理模式,例如,推广基于绩效的长期管护合同(Performance-Based Contracting, PBC),将管护费用的支付与植被覆盖率、物种多样性、水土保持效果等可量化的绩效指标直接挂钩,从而有效激励管护单位尽职尽责。同时,积极鼓励社区参与共治,将条件适宜的市政边坡绿地纳入“社区花园”或“口袋公园”的管理体系,通过组织市民认养、志愿养护等活动,建立起政府主导、社会协同、公众参与的共建共治共享新格局,确保生态防护成果能够长久惠及城市与市民。

4 结语

市政边坡生态防护技术是城市可持续发展的关键,如今已从单一植被恢复发展为工程与生态深度融合的综合体系,潜力巨大。但植物选型不当、长期稳定性欠佳、管护及评估体系不完善等问题,成为其高质量发展的阻碍。展望未来,该技术将朝着智能化、复合化、艺术化和绿色化迈进。为此,本文建议加强乡土植物筛选、根-土作用机理等基础研究,为实践提供科学支撑;尽快完善涵盖全链条的技术标准和指南;创新投融资与管护模式,破解“重建轻管”难题;推动土木、生态、景观、数据等多专业协同合作。如此,才能让城市市政边坡从潜在风险点转变为彰显生态文明魅力的亮丽名片,为建设人与自然和谐共生的现代化城市添砖加瓦。

[参考文献]

- [1]黄志强.公路边坡生态防护技术研究[J].中华建设,2025,(11):174-176.
- [2]梁家诚,秦琦珂,罗絮尹,等.植物生态袋在边坡防护中的应用[J].城市建筑,2025,22(19):211-214+232.
- [3]方笑,彭景,温竣杰,等.城市山地公园边坡生态防护技术实践与优化探析[J].南方农业,2025,19(15):227-232+236.
- [4]陈千华.公路路堤边坡生态防护设计及施工方法研究[J].工程建设与设计,2025,(11):102-105.