

植被混凝土在高陡岩石边坡中的试验与应用

董书赞

(深圳市南山区建筑工务署, 广东 深圳 518000)

摘要: 南山区前海路(棉山路—妈湾大道段)工程位于现状小南山脚下,需破除小南山坡脚石方后形成路基,边坡岩石以微风化花岗岩为主,为减少开挖面,岩石坡比为1:0.2,最高边坡约45 m,属于高陡岩石边坡。为了践行“绿水青山就是金山银山”的发展理念,还小南山一个完整的山林,引用了植被混凝土修复技术。有针对性的进行植被混凝土的配比试验和植物种子的筛选试验,最后选择了一组最优的植被混凝土配比和长势良好的物种配比。目前经过两年半的自然生长,基本实现了高陡岩石坡面植被生境的构建,生态修复效果良好,可为类似工程提供参考和借鉴。

关键词: 高陡岩石边坡;植被混凝土;优化配比;生态修复

中图分类号: U416.1+4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)12-0054-06

0 引言

纯岩质高陡边坡在铁路、公路、水利、矿山生态恢复等工程中是十分常见的边坡。这种岩质边坡植物基本无生长条件,原有的生态平衡仅靠自然界难以恢复。尤其在道路沿线的纯岩质边坡,因其色泽单一,长时间暴露,表面颜色表现灰暗,视觉效果极差,影响大自然的美观等。为解决边坡防护及绿化问题,通常使用种子撒播法、客土喷播法、土工格室生态护坡、框格梁填土植绿护坡、三维植被网护坡等方法,但是针对高陡的岩质边坡,因其土层与水源十分匮乏,难以达到有效的绿化效果。目前通过有效结合传统的防护加固技术和新型的植被恢复技术,可以很好地发挥绿化效果,这种技术称为植被混凝土生态修复技术^[1]。

1 工程概况

前海路(棉山路—妈湾大道段)工程呈东西走向,全长1 128 m。道路东侧接现状棉山路,西侧顺接妈湾大道,南侧为小南山公园,西侧为货柜车停车场。道路位于现状小南山脚下,需破除石方后形成路基,并对南侧小南山边坡进行支护。边坡施工区域主要集中在本项目桩号K0+150~K0+350、K0+580~

K0+880段,共500 m,最大边坡高度为43.6 m。边坡等级为一级,属高边坡支护工程,需支护边坡为岩质边坡,对岩质边坡坡面采用系统锚杆+主动柔性防护网进行防护;岩质边坡锚杆水平间距3.0 m,坡面间距3.0 m。

2 高陡岩石边坡生态修复技术分析 with 选择

2.1 生态修复基本原则

(1)安全性原则:确保边坡的稳定性和安全性。

(2)生态性原则:植被恢复应采用生态恢复的理念,不能过多地增加工程措施,要与周围环境协调一致,充分考虑植被自然演替和繁衍。

(3)可持续性原则:植被生境应可以持续较长的时间。

(4)经济性和可行性原则:边坡生态修复应充分考虑高陡边坡的施工难度,选择合适的施工方法,做到经济合理。

2.2 高陡岩石边坡的特点

(1)植物根系扎入困难。完整的岩石强度高,植物根系无法扎入,仅在岩石微小裂隙之中才能扎入部分。

技术分析:边坡生态修复所选的植物根系宜多且细,根细适合根系向基岩裂隙的扎入及对水分和养分的摄取,同时也不要因为根系长粗而破坏岩面的稳定。例如小榕树虽然适合岩面生长,但榕树根系长粗后容易破坏岩面的稳定,所以不适合边坡生态修复。

收稿日期:2024-02-27

作者简介:董书赞(1976—),男,硕士,高级工程师,主要从事政府投资项目的施工管理工作。

(2)坡度陡,保水保肥能力差。边坡坡度大(岩石坡比 1 : 0.2),植物生长所需要的水分和养分留存在基质的难度大。

技术分析:一方面岩石表面适合植物生长的基质越厚,其保水能力越长;另一方面,岩石表面的基质越厚,要求基质与岩石的粒结力越大,普通的种植土无法在陡岩表面稳定,因而引用了在基质材料中加入水泥,使用强度提高,既提高附着能力,也增加抗冲刷能力。

(3)深圳市雨季的台风暴雨较多,而旱季时间又较长,高陡岩石边坡生态修复难度大。

技术分析:本项目边坡位于小南山的坡角,山顶的雨水需经本边坡排入市级管线,雨季排水量较大,边坡的排水系统要求高;暴雨较多,要求植物基材防冲刷能力强;台风较多,要求植物不能高大,降低植被的稳定性;旱季时间长,要求植物抗旱能力强。

生态修复选择:结合高陡岩石边坡的特点,边坡生态修复采用植被混凝土生态护坡技术,并辅以坡面截排水、灌溉系统和加筋系统等,形成综合的生态治理技术,以提供边坡生态恢复所需的土壤酸性基质、水分(主要在植物生长苗期)和养分,并保证植被生境抗旱抗暴雨冲刷性能。

植被混凝土生态护坡技术是采用特定的混凝土配方和种子配方,对岩石边坡进行防护和绿化的新技术。该技术创造性地将水泥引入生态修复基材,使基材具有较高的强度和抗冲刷性能,可以替代传统的浅层防护结构,通过添加活性添加剂改变基材物理化学特性和微生物特性,保证了植物的可持续生长^[2]。

3 植被混凝土简介

3.1 植被混凝土

植被混凝土是一项新型的混合材料,在为植被提供生长的自然条件的同时起到一定的护坡作用。它是由几种不同功能的材料混合而成的,可直接为植物生长发育提供养料与水分,是植物发芽出苗的载体。植被混凝土主要由砂壤土、水泥、有机肥、复合肥、植被混凝土添加剂、植物种子及水等拌合而成。边坡坡度、地理位置、坡面性质、气候条件等都会影响植被混凝土各组成比例(本文第四部分重点介绍不同水泥用量的植被混凝土基材对本项目高陡岩石边坡的适用性试验)。其植物种子应充分考虑边坡条件和植物生物生态特性,将两者有机结合起来(本文第五部分重点介绍不同物种的配置比例对本项目高

陡岩石边坡的适用性试验)。将各组成材料混合均匀再喷射到边坡坡面,造就适应植物生长的基层。该基层需要有一定的强度、抗雨水冲刷、不产生龟裂、能够稳定附着在坡面上,为植物生长提供附着点,不阻碍植被生长,还能对边坡起到一定的护坡作用。植被混凝土生态修复可以同时达到坡面防护与景观绿化的效果。因此,该施工工艺在南山区前海路(棉山路—妈湾大道段)工程高边坡生态整治施工中得到了推广使用。

3.2 植被混凝土生态修复技术的优势

- (1)基材中水泥的加入使其强度提高(0.2 ~ 0.4 MPa 左右)、抗冲刷能力及附着能力增强。
- (2)活性添加剂的添加,使植被混凝土层不龟裂,有效地改善植被混凝土的化学特性和生物特性,营造较好的植物生长环境。
- (3)植被混凝土层前期挂网加筋,后期植物根系的“加筋锚固”效应,有利于基材的长期稳定。
- (4)绿化覆盖率 95%。
- (5)边坡的整体覆盖,再加上合理植物的选配,可以使人工破坏的边坡得到长期而稳定的生态修复。

3.3 本项目边坡植被混凝土设计

(1)植被混凝土设计参数(见表 1)。

表 1 设计参数				
序号	边坡土(岩)质	放坡系数	设计护坡类型	种植混凝土厚度
1	土质	1 : 1	A	2 cm 面层 8 cm 基层
2	松散岩石	1 : 0.5	B	3 cm 面层 12 cm 基层 5 cm 调平层
3	岩质	1 : 0.2	B	3 cm 面层 12 cm 基层 5 cm 调平层

- (2)种植混凝土设计剖面图。
- (3)土质边坡种植混凝土修复大样图(A 型)见图 1。

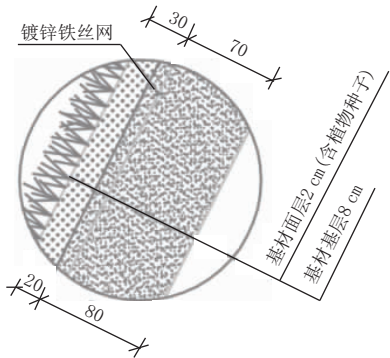


图 1 种植混凝土修复大样(A 型)

(4)岩质边坡种植混凝土修复大样图(B 型)见图 2。

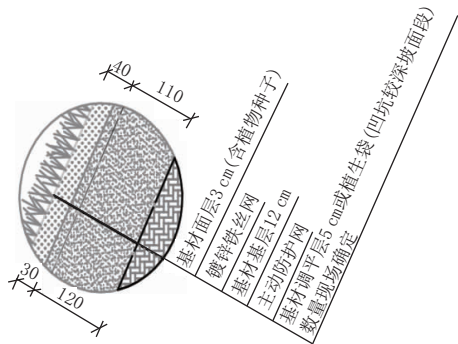


图 2 种植混凝土修复大样(B 型)

4 植被混凝土的配比试验

4.1 试验内容

研究不同水泥用量的植被混凝土基材在本项目的高陡岩石边坡的适用性，对基材的物理性质和植物生长情况进行对比试验，通过相关指标的动态特征筛选出比较适合的植被混凝土基材配比。

4.2 四种试验配比的选型参数^[3]

四种试验配比的选型参数见表 2。

表 2 植被混凝土组配比例(相对质量比)

材料名称	类型	砂壤土	水泥	添加剂	有机质	有机肥
用量	A 型	100	4	4	3	2
	B 型	100	6	6	3	2
	C 型	100	8	8	3	2
	D 型	100	10	10	3	2

注：A、B、C、D 型配比的水泥含量分别占砂壤土重量的 4%、6%、8%、10%；其添加剂占比与水泥相同；而有机质和有机肥本次试验不作调整。

4.3 各配比 pH 试验与分析

基材 pH 对前期种子萌发和植物生长有重要作用，pH 太高不利于植物的生长。为此，本项目进行了各配比 pH 试验。试验结果见图 3。

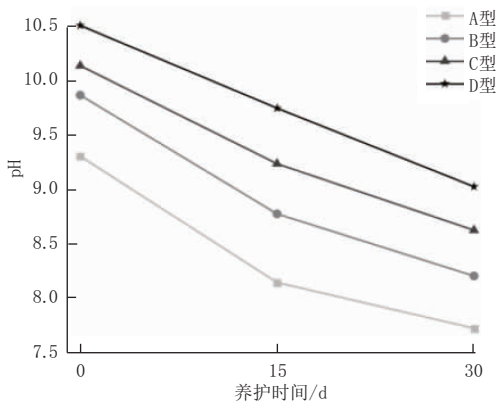


图 3 基材 pH 龄期变化

技术分析：由于水泥的掺入，前期 pH 普遍较高。随着时间的推移，基材会因雨水冲刷、水泥固结、植物作用等导致 PH 逐渐下降，一个月后 A 型 pH 下降到 7.73，B 型 pH 下降到 8.21，C 型 pH 下降到 8.63，D 型 pH 下降到 9.03。

试验结论：基材的 pH 适宜性由高到低依次为 A 型→B 型→C 型→D 型（符合水泥掺量增加的曲线，水泥掺量高 pH 下降慢）。

4.4 各配比基材强度试验与分析

基材需要同时达到坡面防护和生态恢复的目的，这就要求基材要有一定的硬度使之可以有效预防暴雨的冲刷，同时硬度不能太大以满足植物生长的需要。为此，本项目进行了各配比硬度值试验。试验结果见图 4。

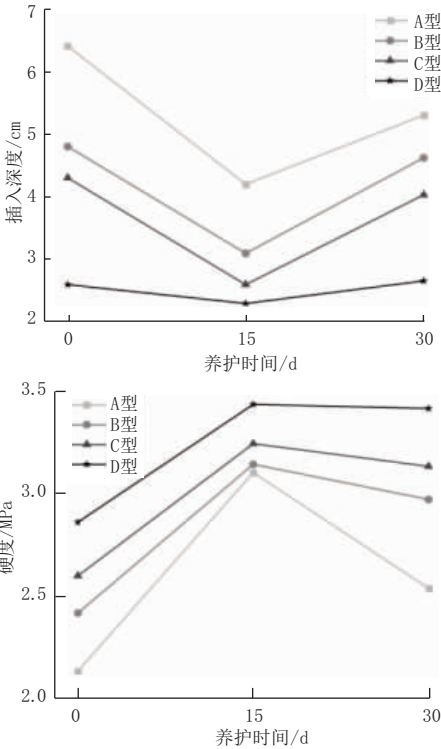


图 4 基材强度变化

技术分析：基材的硬度呈现先上升后下降的变化趋势，推测是由于基材前期强度主要靠喷播夯实作用，基材强度有限，15 d 后水泥水化作用基本结束，基材强度因水泥的固化增强；后期基材虽然因水化膨胀和植物生长等因素干扰，硬度有一定下降，但此时植被根系逐渐发育，成为后期保证基材强度的重要因素^[4]。

试验结论：基材强度由小到大依次是 A 型→B 型→C 型→D 型（同样与水泥掺量曲线符合）。

4.5 植物长势与分析

试验区域为岩质边坡，坡面约 8 m，长约 24 m，

由左至右每隔6 m布置一段,分别为A型、B型、C型、D型共4个试验基材配比试验区。为优选最佳基材配比,试验区采用了相同的施工方法、相同的基材厚度、相同的植物种子、相同的养护方案。

坡面植物长势分析:A型配比植物在试验块1/2以上长势更好,下侧则生长稍差,观察坡面润湿度发现生长不好区域普遍积水较多,猜测可能与养护有关。B型配比在试验块左下部分植物生长较差,其余地区生长良好。C型配比左侧生长较好而右侧生长不良,观察其下方有较多植物生长,推测可能是雨水冲刷或喷播中各项因素干扰,导致种子下滑。D型只有顶部植物生长良好,其余区域生长差。

植物生长适宜性:除去养护等外界因素对试验的干扰后,对坡面植物长势进行分析可知,A型、B型及C型试验块都适宜植物生长,D型水泥掺量较多,并且受花岗岩残积土本身性质影响,坡面硬度太大不适宜植物生长。

试验结论:综合比较基材特性和植物生长特性分析,A型水泥掺量较小,坡面硬度不够,基材容易水浸软化,没有达到理想的基材强度。B型植物总体长势最好,基材也没有因雨水冲刷、养护浸润等出现滑落剥离现象,总体符合要求。C型植物生长良好,基材强度稳定,能满足坡面防护和生态恢复的要求。D型水泥掺量过大,加之花岗岩残积土硬度较高,基材强度过高不利于种子萌发和后续生长,达不到生态恢复要求。

本项目最佳基材配比:B型和C型都能同时满足强度和植物生长的要求,是高陡花岗岩边坡的理想生态基材。考虑到深圳多暴雨、台风等灾害天气,为了确保喷播后生态基材的稳定性,应以C型基材配比为最优配比。

5 植物种子的筛选试验

5.1 试验目的

- (1)确定灌草种子的配置比例。
- (2)不同比例配比的发芽率情况。
- (3)不同比例下灌草种子配置对相互生长的影响。
- (4)测定灌木为建群种的成形时间。
- (5)验证能否形成灌草型植物群落。

5.2 物种筛选原则

(1)安全性原则。植被群落设计应与边坡类型相结合,所选物种不会对边坡稳定和周边环境构成威胁。

陡岩边坡植被稳定分析:在岩质边坡上,尤其是坡度较大的岩质边坡上,基材的稳定前期主要依靠基材自身强度来抵抗雨水冲刷,同时增加部分锚钉和挂网,以提高基材的整体性和岩石的黏结力。在中后期,在锚钉和网片锈蚀之前,基材的稳定应该转换为根土混合植生被的自身稳定。

良好的根系应该最少满足两个条件:一是主根可以进入岩石缝隙并锚固在岩石缝隙中;二是横向根系发达,可以组成根系网。

对应物种选择分析:由于乔木高大,台风时影响边坡稳定,因而不应选择;花草虽然发芽较快,可以快速见到绿化效果,但花木的根系不发达,而草的根系太短,较难进入岩石缝隙。因而本项目适合选择以灌木为建群种、花草植物为伴生种的群落类型。

(2)地带性原则。不同气候的地理区域影响着植物的分布与生存,而在特定区域内的植物对当地气候环境都具有较强的适应能力。这些经过长期的自然选择而存活下来的植物就是地带性植物,也称乡土植物,对当地环境具有较强的适应性和抗逆性,是自然界自然选择的结果。

优先选用乡土植物对植物群落的快速建植、群落健康稳定,以及加快生态系统的恢复有着重要的意义。

(3)抗逆性原则。本项目属于高陡岩石边坡,适合植物繁殖的土壤稀缺,且边坡土壤自稳能力和保水性均较差,植物生长受限,物种需要在土壤贫瘠、干旱的环境中繁殖、扩散。

(4)物种多样性原则。在一个植物群落中,物种多样性指生物中的多样化和变异性,以及生境的生态复杂性。拥有多种植物的生态系统的抗干扰能力远比仅拥有单种或几种植物的生态系统的抗干扰能力强。

(5)自然性原则。植被生态恢复的群落类型要符合当地的自然环境,尽量做到恢复植被与当地原有植被相协调。

5.3 岩质边坡植物配比试验

岩质边坡植物配比试验见表3。

5.4 各配比生长情况

试验段在2021年5月中旬施工完成,养护三个月后边坡植物情况:

第一试验段:有两片斑秃,以狗牙根为主,零星分布少量结缕草,未见百喜草。每平方米约30株草本,灌木零星分布,约每平方米2株黄花槐,1株多花

表 3 岩质边坡植物配比试验 单位:株/m²

试验段	灌木	草本	花	备注
第一试验段	车桑子 4、黄花槐 3 胡枝子 3、多花木蓝 3	狗牙根 2、结缕草 2、进口百喜草 2	半枝莲 2 波斯菊 2	原坡比 1:0.5 岩石边坡配比
第二试验段	车桑子 4、黄花槐 3、胡枝子 3、马缨丹 3、多花木蓝 3	狗牙根 1、高羊茅 1、进口百喜草 1	半枝莲 1 波斯菊 1 蟛蜞菊 1	灌木不变,花草减半
第三试验段	车桑子 6、黄花槐 10、马缨丹 10、多花木蓝 3、红花继木 4	结缕草 1、高羊茅 1、进口百喜草 1	半枝莲 1 波斯菊 1 蟛蜞菊 1	灌木增加,花草减半
第四试验段	车桑子 6、黄花槐 10、马缨丹 8、银合欢 4、多花木蓝 3	香根草 3、进口百喜草 1	半枝莲 2 波斯菊 1 蟛蜞菊 1	灌木增加,草本减少
第五试验段	车桑子 10、黄花槐 3、胡枝子 3、银合欢 3、多花木蓝 3	狗牙根 0.5、香根草 3、高羊茅 1	百日菊 1 波斯菊 1 蟛蜞菊 1	灌木增加,花减少

木蓝,未见车桑子及胡枝子,有零星波斯菊,未见半枝莲,约每平方米一株。

第二试验段:下部有大片斑秃,草本以狗牙根为主,零星结缕草,未见百喜草,草本约每平方米 12 株。灌木每平方米约一株黄花槐和多花木蓝,未见车桑子及胡枝子。零星分布少量波斯菊,约每平方米 1 株。

第三试验段:以高羊茅和狗牙根为主(狗牙根可能为工人配比时出错,也可能为第二试验段喷播时候的影响造成),每平方米约 30 株草本。每平方米约 3 株灌木,有零星车桑子,以黄花槐和多花木蓝为主,未见马缨丹和红花继木。花每平方米约 1 株波斯菊,未见半枝莲和蟛蜞菊。

第四试验段:局部有垮塌现象,草本以香根草为主,零星有百喜草,每平方米约 12 株草本。灌木有银合欢、黄花槐和多花木蓝,每平方米约 2 株。花以波斯菊为主,每平方米约 2 株,未见半枝莲和蟛蜞菊。

第五试验段:每平方米约有 50 株草本,以狗牙根和香根草为主,有少量高羊茅分布。灌木约每平方米 15 株,大多为幼芽,主要为黄花槐、多花木蓝和银合欢,有少量车桑子,未见胡枝子。花类以波斯菊和百日菊为主,约每平方米 1 株。

5.5 试验段情况分析

根据试验的情况看,岩质边坡第二和第四试验段生长情况较差,第一、第三、第五试验段基本能满足后期生长及覆盖率的要求。

试验段岩质边坡前期长势较差,经分析,具体原因如下:

(1)第二试验段由于上一级边坡养护及水箱浮球阀故障漏水原因,上部截水沟截水后通过裂隙渗透到试验段表面,导致大部分坡面长时间泡水,种子苗期的质量受到影响。

(2)第四试验段部分面层因下一级坡面爆破施工的震动导致脱落,影响后期效果。

(3)第一至第五试验段前期生长均较差的原因,一是坡面养护前期未设置养护水管,依靠人工养护,坡面浇水不均匀,且由于坡率较大,坡面的保水率较差;二是面层喷植完毕后采用无纺布覆盖保湿,由于无纺布比较细密且表面比较光滑,养护时水分无法到达喷播面层,导致苗期的前期养护不足。

后期改进措施及后续施工:

(1)对于试验段斑秃部分,经过加强养护后,除第二及第四试验段外,种子发芽及长势有所好转。对于第二及第四试验段,后期对斑秃部位进行补喷面层,且用遮阳网覆盖,采用园林喷雾养护系统进行初期养护。

(2)对于后期还没施工部分,将充分吸取该试验段的经验和教训,在喷植基层时将埋设微渗灌管系统,同时表面加设园林喷雾养护系统以保证植物种子前期的发芽及生长。

(3)后期施工部分可参照第五试验段的种子配置及养护措施进行。

6 实施效果

植被混凝土是一项新型的混合材料,在为植被提供生长的自然条件的同时起到一定的护坡作用。

南山区前海路(棉山路—妈湾大道段)岩质边坡生态治理工程实施后,边坡逐渐覆绿,草木长势良好,在精心养护下,边坡上不同的草木、灌木等植物都能良好生长,边坡绿化覆盖率保持在 95%以上,秋季能很好地实现植物更替,呈现植物多样性特点(见图 5~图 8)。

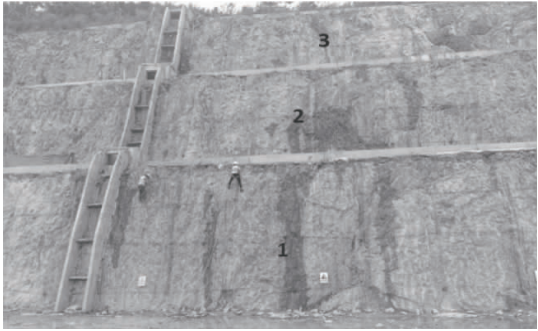


图 5 植被混凝土施工前边坡现场



图6 植被混凝土施工一年半现场



图7 一~四级边坡没有施工,五级边坡施工半年(秋季)



图8 五级边坡施工两年半,二~四级边坡施工一年半,一级边坡施工半年(雨季)

以灌木为建群种、花草植物为伴生种的物种配比,在本项目岩质边坡的植物更替过程如下:雨季施工第1周花草开始发芽→第1月花草发芽完毕,并初见边坡绿植→第3~6个月绿植基本形成,此阶段以花草为主,灌木部分发芽(见图8中第一级边坡)→第1个旱季,花草开始枯死(图7中第五级边坡),灌木开始长高→第二个雨季灌木正常生长,部分草根继续发芽,此阶段灌草共生(见图8中第二至

四级边坡)→经过第2个旱季后,草本继续减少,灌木逐步形成建群种(见图8中第五级边坡)。

7 结 语

(1)基材中水泥掺量越小,越有利于植物生长,但基材的强度越低,与边坡岩石的黏结力也越小;反之,水泥含量越大,越不利于植物生长,但基材强度越高,基材与边坡岩石黏结力也越大。

(2)通过试验可知:高陡岩石边坡生态基材的最佳配比是水泥含量占砂壤土重量的6%~8%。考虑到深圳多暴雨,最后确定水泥含量为8%的基材配比是本项目的最优配比。

(3)植物配比试验的结果是:以灌木种子为主,花和草的种子较少的第五试验配比为最优配比,经过两年半左右的植物更替,可以形成灌木为建群种的设计效果。

项目实施两年半,植物生长更替良好,形成良好的植被群落生境,与自然群落有生态相似性,与原山体生态环境较好地融合,很好地消除了岩质边坡带来的视觉污染及生态失衡等问题。同时,经过对边坡持续的安全监测,边坡生态治理对边坡安全几乎没有影响。

参考文献:

- [1] 刘晓蓉.植被混凝土生态防护技术在高陡边坡上的应用[J].四川建材,2020,46(1):9-10.
- [2] 谢红忠,岳克栋,闵超.植被混凝土生态护坡技术在黄金峡水利枢纽高陡边坡生态治理中的应用[J].中国水运(下半月),2021,21(10):99-100.
- [3] 蓝群力,张新天,卞立波,等.高陡岩石边坡植被恢复组合结构与材料性能研究[J].材料导报,2019,33(增刊2):143-146.
- [4] 阳珍,袁飞云,严贤春,等.适用于岩质边坡植被恢复的植生基材比选研究[J].公路,2024,69(1):351-357.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com