

基于主动防护网的喷混植生技术应用研究*

韩启斌 李朋远

(深圳市东华园林绿化有限公司, 广东 深圳 518000)

摘要 基于主动防护网的喷混植生技术将植生条工艺和主动防护网工艺引入到传统的喷混植生技术中, 由内向外形成“镀锌铁丝网+植生条+主动防护网”的支撑加固组件, 能够提高生长基材的稳定性以及与岩石的粘附性, 达到快速、持久的复绿效果。扦插类芦的复绿方法具有植物生长快速、适应力强、边坡复绿效果好等优点, 将扦插类芦以及藤本植物点栽的施工工艺与基于主动防护网的喷混植生技术相结合使用在高陡岩质边坡的绿化应用中具有良好的实践意义与推广价值。深圳深云车辆段边坡绿化项目应用此项施工方法, 获得良好的复绿效果。

关键词 岩质边坡绿化; 喷混植生; 主动防护网; 植生条; 藤本植物

中图分类号: S731.2

文献标识码: A

文章编号: 1006-4427 (2015) 02-0136-06

Application Research of Spraying Combined Materials Based on Active Protection Network

HAN Qibin LI Pengyuan

(Shenzhen Donghua Landscaping Co., LTD., Shenzhen, Guangdong 518000, China)

Abstract This paper introducing ecological strip technology and active protection network technology into the conventional spray combined materials technology which enable it to form an inside-out supporting reinforcing assembly with galvanized wire net, ecological strip and active protecting net. This technology improved the stability of growth substrate and the adhesion to rock, therefore it was capable of reaching a rapidly and persistently re-greening purpose. The re-greening method by cutting propagation of *Neyraudia reynaudiana* had some distinct advantages that it made plants grow rapidly and well-adapted, thus achieved optimal results of the slope re-greening. Combination of utilization of these two technologies as well as the vines planted construction technology in high and steep rocky slope greening would show great value of practical application and promotion. The project of Shenyun train depot slope greening in Shenzhen set a good example to these technologies.

Key words rocky slope greening; spraying combined materials; active protection network; ecological strip; vines

*第一作者: 韩启斌 (1978-), 男, 工程师, 主要从事园林绿化工程施工工作, E-mail: 182268877@qq.com。

通信作者: 李朋远 (1988-), 男, 主要从事园林绿化工程施工工作, E-mail: 1114252429@qq.com。

岩质边坡因其独特的边坡环境，一直是边坡复绿技术中的难点与热点，近几年来喷混植生技术在岩质边坡的绿化中也得到了大面积的推广应用，虽然其具有施工高效、复绿效果快速等一系列优点，但是随着时间的推移，只有 10 cm 左右的基材逐渐脱落，对石壁的粘附性降低，长期的绿化效果较差。而基于主动防护网的喷混植生施工工艺通过主动防护网、植生条等工序增加生长基材的稳定性与粘附性，另外通过其他施工工艺的辅助，达到延长岩质边坡的复绿效果。

岩质边坡的防护治理经历了工程防护、生态修复两个阶段，工程防护的原理是采用挡土墙防护、预应力锚索、压浆锚杆、喷锚支护以及主动防护网技术^[1]等来提高边坡岩石的结构强度和抗变形刚度，达到增强边坡的整体稳定性。20 世纪 90 年代客土喷播技术从日本传入国内后^[2]，从 2001 年起，喷混植生技术在广东等地大面积推广应用^[3]，以及飘台种植、挂笼砖、台阶栽植、植生毯、植生条等技术^[4]的出现，使得利用新技术为岩质边坡重构生态系统的生态修复得到了快速的发展。在生态修复的指导思路下，深圳深云车辆段边坡绿化项目将植生条引入到喷混植生技术，再与主动防护网相结合应用到岩质边坡的生态修复中，增强了重构生态系统的稳定性，实现了岩质边坡的生态修复和景观效果。

1 基于主动防护网的喷混植生技术简介

1.1 工艺原理

基于主动防护网的喷混植生技术是在挂网喷混植生技术中的镀锌铁丝网外侧安装植生条，接着在植生条的外侧铺设 SNS 柔性主动防护网，由内向外形成“镀锌铁丝网+植生条+主动防护网”的支撑加固组件；然后利用特制的喷混机械将植物生长基材喷射到支撑加固组件上，由于植物生长基材内粘合剂的作用，植物生长基材会与支撑加固组件形成一个既能让植物生长又不易被雨水冲刷的稳定结构；最后使用液压喷播机进行种子混合物的喷播，经过后期合理养护，达到恢复植被，重构生态系统的目的。工艺流程见图 1。

1.2 工艺流程要点

1.2.1 排水系统的构建 根据边坡开挖后的实际情况，若边坡开挖方式为阶梯式开挖，并预留了相应的马道平台，则建议修建“截水沟+排水沟+跌水槽+排水孔”的排水系统模式，即整个坡体四周修建截水沟、马道平台上修建排水沟、平台间通过跌水槽连接、坡面安装排水孔，使用混凝土浇筑或者浆砌石的方式修建整个排水系统。截水沟和排水沟宽度 60 cm，深度 60 cm；跌水槽与排水沟相连通，宽度 80 cm，深度 50 cm；每 2 m²修建一个排水孔，孔深 100 cm，孔径 3~4 cm，并安装排水管。若边坡无预留的马道平台，则建议修建“截水沟+排水孔”的排水系统。通过构建合理的排水系统，减少降雨对坡体的侵蚀和冲刷，是重构岩质边坡生态系统的重要环节。

1.2.2 清理坡面 坡面的清理工作不仅是后续各环节的安全保障措施，而且清理的好坏决定了支撑加固组件与坡面的粘合程度。清坡人员必须佩带安全帽、安全带、高空防护绳等安全防护装备，现场专职安全员监管，确保施工安全；清理前应做好坡脚电缆、管道、栏杆边的安全防护措施；清理中使用长约 1 m 的撬棍，对松动、突出、存在安全隐患的石块进行清理，并保证坡面过渡自然，从而使镀锌铁丝网与坡面贴的更为紧密，便于支撑锚杆的固定。

1.2.3 铁丝网的铺设安装 首先，使用冲击钻机在坡面顶端每隔 50~100 cm 打一排支撑孔，并安装支撑锚杆， $\Phi=1.6\sim2.0$ cm，长度 50~100 cm；其次，镀锌铁丝网（孔径 5 cm×5 cm， $\Phi=0.3\sim0.4$ cm）铺设可采用坡顶顺势下放或坡底上拉铺设两种方式，铺设时应拉紧铁丝网，坡顶固定在已安装好的支撑锚杆上，两张铁丝网之间搭接 10~15 cm；镀锌铁丝网的搭接处使用#18 铁线进行捆绑加固，纵向间距每隔 50 cm 加固一

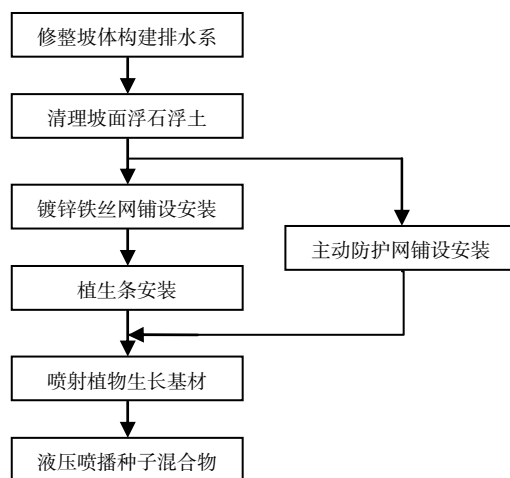


图 1 基于主动防护网的喷混植生施工工艺流程

次;最后,使用钻机在坡面上打孔,按 100 cm × 100 cm 间距梅花状进行铁丝网的固定,使用锚杆 $\Phi=8\sim12$ mm,长度 30~50 cm,锚杆形状为“L”型,并最终将锚杆砸弯使镀锌铁丝网紧贴坡面。

1.2.4 主动防护网的铺设安装 主动防护网的铺设安装与镀锌铁丝网的铺设安装交叉进行,镀锌铁丝网铺设安装前,先进行主动防护网加固锚杆的安装固定。(1)测量放线确定固定主动防护网的锚杆安装孔位,水平间距 2.5~3.5 m,垂直间距 2.0~2.5 m 确定一个孔位,坡顶、坡底各确定一排孔位;使用风炮机进行钻孔,安装孔的深度为 2.5~3.0 m,孔径 30~35 mm;(2)加固锚杆使用直径 28 mm 带螺纹端的镀锌锚杆,安装锚杆(锚杆螺纹端朝外)并灌浆,浆液标号 $\geq$ M20,灰砂比 1:1.0~1.2、水灰比 0.45~0.50:1 的水泥砂浆,在下一道工序前注浆体养护至少需要 3 天;(3)植生条安装工序完成后,铺设安装 SNS 主动防护网,其主要成分为高强度钢丝格栅(TECCO 网),并采用了热镀锌和裹塑的双层防腐工艺,孔径为 5 cm × 5 cm~7 cm × 7 cm,钢丝 $\Phi=0.3\sim0.4$ cm;为便于施工方便,每张高强度钢丝格栅网的定制宽度为 3 m,长度约 10 m 左右;两张主动防护网之间搭接 10~15 cm,并使用 $\Phi=1.2$ cm 的钢丝绳进行纵向串联,横向同样使用 $\Phi=1.2$ cm 的钢丝绳沿固定锚杆的位置进行串联,并将横向串联的钢丝绳与纵向串联的钢丝绳进行链接并固定在加固锚杆上;最后将加固垫和加固螺帽固定在加固锚杆的螺纹端,从而将主动防护网和钢丝绳固定在岩质坡体的表面(图 2)。

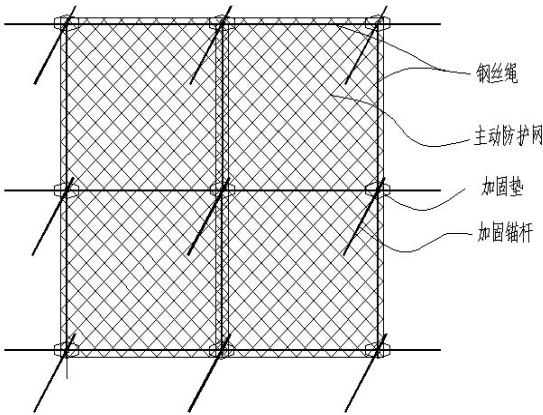


图 2 主动防护网的安装结构

1.2.5 植生条的安装 植生条为 40 g/m²的无纺布缝制而成的长度 100~150 cm、直径 8~10 cm 的条状生态

袋,其内部填充种植土与有机肥、部分灌木种子的混合物后,两端使用扎带进行固定;利用#18 铁线将制作好的植生条固定在镀锌铁丝网的外侧,植生条横向安装,垂直间距 15~25 cm。

1.2.6 喷射植物生长基材 镀锌铁丝网、植生条和主动防护网安装完成后,使用佳乐 KP-25SR 型客土湿喷机(该机型具有喷播垂直高度高等优点)进行植物生长基材的喷射,生长基材见表 1。

1.2.7 液压喷播种子混合物 植物生长基材喷射完成后 1~2 d 后,进行种子混合物的喷播,种子混合物主要包括纸浆、有机肥、磷肥和各类种子,在水中进行充分搅拌后,使用液压喷播机进行喷播。种子混合物的成分(表 2)中包括种子包括草本、灌木、乔木、藤本和点缀性花草,草籽种类 7~8 种,总用量为 35 g/m²。根据对当地生态修复后边坡的植物群落调查,种子混合物中选用了适应性较强的银合欢(*Leucaena leucocephala*)、猪屎豆(*Robinia pseudoacacia*)、山毛豆(*Tephrosia candida*)等品种^[5]。种子混合物喷播完成后,覆盖无纺布,进行后期养护。

表 1 植物生长基材配比

材料	用量/(kg · m ⁻³)	作用	内容
种植土	1000	提供植物生长的最基本条件	红壤土、砂壤土,最大粒直径小于 2 cm
有机肥	200	改善土壤环境,增强土壤肥力	蘑菇肥、泥炭土、污泥肥、鸡屎肥等
无机肥	20	增强土壤营养成分	磷肥、复合肥, N:P:K(1:0.5:0.8)
保水剂	0.5	保水涵水,改善土壤含水量	高效长期缓放保水剂,聚丙烯酰胺
粘合剂	0.5	增强土壤黏力,起到保墒的效果	水溶性粘合剂
混合草籽	0.2	抵抗外界的不良胁迫,增强坡面植物的适应性和抗逆性	每种乔、灌木用量
水	500	搅拌	养护用水

注:1 m³植物生长基材可喷播面积 10 m²,喷播厚度 10 cm。

表 2 种子混合物的配比

材料名称	用量/(g·m ⁻²)	类型	作用
狗牙根 (<i>Cynodon dactylon</i>) 高羊茅 (<i>Festuca elata</i>)	4	多年生草本	边坡绿化先锋植物, 狗牙根为暖季型草种, 高羊茅为冷季型草种
百喜草 (<i>Paspalum notatum</i>)	4	多年生草本	暖季型草种, 边坡绿化先锋植物
金盏菊 (<i>Calendula officinalis</i>) 波斯菊 (<i>Cosmos bipinnata</i>)	3	一年生草本	点缀性花草, 提高景观效果
猪屎豆 (<i>Crotalaria pallida</i>)	5	一年生小灌木	速生绿化植物、绿肥植物
木豆 (<i>Cajanus cajan</i>) 山毛豆 (<i>Tephrosia candida</i>)	5	多年生灌木	速生绿化植物、绿肥植物
银合欢 (<i>Leucaena leucocephala</i>)	5	乔木	边坡绿化树种
刺槐 (<i>Robinia pseudoacacia</i>)	5	乔木	速生绿化树种
葛藤 (<i>Pueraria lobata</i>) 牵牛花 (<i>Pharbitis purpurea</i>)	4	藤本	绿化植物
纸浆	1500	植物纤维	增加种子混合物的粘性, 提供种子附着点
有机肥	200	泥炭土	提供种子萌发的营养成分
磷肥	100	过磷酸钙	提供种子萌发的营养成分
水	2000	养护用水	搅拌

2 项目应用情况

2.1 项目环境概况

深圳深云车辆段边坡绿化项目位于深圳市南山区塘朗山, 施工现场为当年的采石场开挖后形成, 坡面开挖方式为阶梯式开挖, 共形成 15 级边坡缓冲带, 坡体垂直高度达 150 m, 上部 5~15 级缓冲带坡面高度约 10 m, 马道平台宽度约 2~5 m, 下部 2~4 级缓冲带坡面高度约 18 m, 马道平台宽约 5 m 左右。项目工期自 2013 年 9 月 10 日开工至 2014 年 1 月 20 日完工, 持续工期 132 d, 施工面积 63 000 m², 受现场环境限制, 施工方式采用湿喷机从底层坡面向上施工, 喷锚机从顶层向下施工, 避免工作面的交叉影响。施工时期内年均降雨约 300~400 mm, 约占全年降水量的 15%~20%, 施工和养护用水来源于汇集的山体溪流。

2.2 项目施工过程

2.2.1 施工机械及材料准备 施工机械包括佳乐 KP-25SR 型客土湿喷机 3 台、喷锚机 1 台、液压喷播机 2 台、空压机 3 台、搅拌机 3 台、装载车 3 台、风炮机 5 台等;

施工材料包括镀锌铁丝网、TECCO 网、钢丝绳、螺纹钢、种植土、有机肥、无机肥、植物种子、植生条、无纺布等, 在项目开工前机械材料陆续进场, 并进行相关的设备、材料的验收; 开工后组织项目技术负责人、施工员、班组成员等相关人员进行技术交底、安全培训交底工作。

2.2.2 施工工艺流程 项目施工工艺流程按照基于主动防护网的喷混植生技术的工艺流程进行施工, 排水系统为“截水沟+排水沟+跌水槽+排水孔”的排水模式; 镀锌铁丝网与支撑锚杆构成边坡的支撑组件, 为植生条提供附着位点; TECCO 网-主动防护系统通过加固锚杆固定在坡面形成加固组件, 将镀锌铁丝网、植生条以及其本身连在一起形成支撑-加固组件; 喷混机械进行植物生长基材的喷射, 覆盖支撑加固组件, 最后液压喷播种子混合物, 覆盖无纺布, 进行后期养护(图 3)。

在上述施工工艺的基础上增加了下列工序:(1)植物的配置上增加了扦插类芦和点栽藤本植物的工艺, 类芦的种子应用于边坡绿化已经大面积推广^[6], 但在边坡绿化中扦插类芦的案例较少。野外采集类芦, 人工按照 30~40 cm 的长度进行切割, 5~6 根扎成一束, 在植物生长基材喷射工序开始前将每束类芦固定在主动防护网的孔径内, 然后进行喷射基材, 或者生长基材喷射完成后, 将每束类芦扦插到到基材内, 基材外露

出 10~20 cm, 平均间距为 2~3 m, 但该方法容易造成对生长基材的破坏; 藤本植物因其独特的生物学特性, 在岩石边坡绿化工程中得到了广泛的应用^[7], 常用的种类有爬山虎[8]、薜荔、葛藤、五爪金龙等, 往往单一藤本植物的景观效果较差, 本项目在完成种子混合物的喷播后, 在坡脚和坡顶点栽爬山虎和薜荔两种藤本植物, 而且该配置方式已经在深圳的立交桥、涵洞、公路边坡上呈现了很好的景观效果。(2) 整个施工工艺流程完成后, 增加了自动喷灌系统的安装工序。首先, 沿坡顶修建若干 5~10 m³ 的蓄水池, 每个蓄水池可实现每天 5 000~1 0000 m² 的灌溉面积; 其次, 利用潜水泵将边坡排水系统汇集的降雨输送到坡顶的蓄水池内, 喷灌主管端安装加压泵, 主管使用直径为 63 mm 的 UPVC 给水管, 一端与蓄水池相连接, 另外一端连接每级坡面的喷灌干管, 喷灌干管为直径 50 mm 的 PVC 给水管; 喷灌支管为直径 25 mm 的给水管, 连接喷灌干管和喷头, 通过三级喷灌管道实现边坡的自动灌溉, 减少后期养护的人工成本。

2.3 项目效果

施工完成的一个月后, 狗牙根、百喜草的萌发率达到 80%, 高度已经达到 10~15 cm, 灌木、乔木种子萌发率达到 60% 左右, 生长高度约 5~10 cm, 扦插的类芦已经开始长出嫩叶, 整体坡面绿化覆盖度达到 80%; 三个月后, 狗牙根已经开始横向蔓延, 木豆、猪屎豆高度达到 40~50 cm 左右, 银合欢高度达到 30 cm 左右, 刺槐高度约 20 cm 左右, 牵牛花藤茎已有 2~3 m, 扦插的类芦高度已有 60~80 cm, 坡面整体的覆盖度达到 90%; 六个月后, 猪屎豆、木豆的高度已经达到 100 cm, 银合欢的高度达到 60~80 cm, 类芦已经达到 150 cm 的高度, 爬山虎的蔓延半径达到 50 cm, 整体覆盖度达到 95% 以上, 绿化效果明显, 逐渐形成底层以草本和藤本为主、上层以乔灌木为主的两层自然生态景观, 重构了岩石边坡的生态系统。

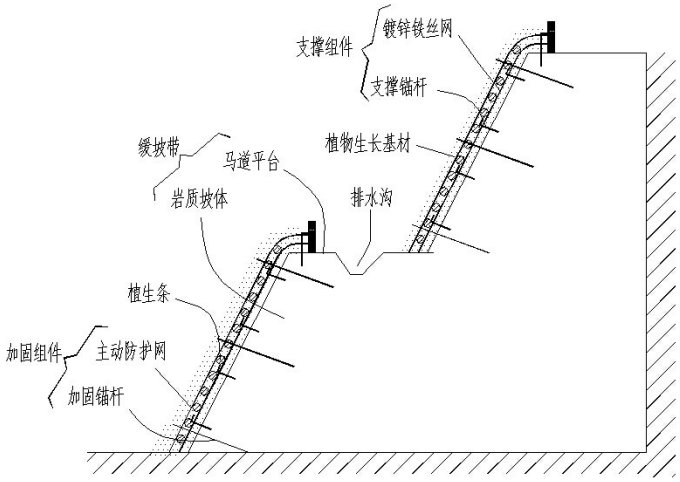


图 3 施工后的结构剖面图

3 方案分析

将该施工工艺与客土喷播技术、喷混植生技术、飘台种植、藤本复绿等岩质边坡的复绿工艺进行对比分析(表 3), 表明在高陡的岩质边坡采用该技术要明显优于传统的喷混植生技术, 由于主动防护网的加固, 其使用年限也要明显高于传统喷混植生技术。因此, 该技术值得在坡度>70° 以上的岩质边坡进行推广。

表 3 岩质边坡绿化施工技术的对比分析

施工工艺	使用范围	综合单价/ (元·m ²)	优点	缺点
基于主动防护网的喷混植生技术	坡度>70° 的石质、土质边坡	300	施工方便、机械化程度高、复绿效果快速、边坡稳定性高。	施工成本高、养护用水量
喷混植生技术	坡度<70° 的石质、土质边坡	150	施工方便、机械化程度高、复绿效果快速。	施工成本较高、养护费用较高、基材随时间推移容易脱落
飘台种植复绿法	石质边坡	180	植物品种丰富多样、养护费用较低。	施工难度大、成本高、工期长、危险系数较高、复绿效果缓慢
藤本复绿法	石质、土质边坡	30	施工简单、成本费用低、可配合其他工艺。	复绿效果缓慢、植物成分单一

基于主动防护网的喷混植生施工工艺与以往的岩质边坡治理工艺相比较,具有以下特点:第一,首次将 SNS 主动防护网与喷混植生技术相结合使用,实现了工程防护与生态防护的双重效果;第二,对喷混植生技术进行了优化,使用粘合剂代替碱性水泥,避免了因水泥用量控制不当对植物萌发率的影响;将植生条工艺引入到喷混植生技术,达到固土挡土的目的,加强坡面生长基材的稳定性;第三,将当地边坡优势物种类芦成功应用到边坡绿化的施工工程,并达到了良好的绿化效果;最后,将边坡排水系统与自动喷灌系统相结合,达到降雨的循环利用,实现边坡绿化的经济效益与生态效益。该工程完工后的两个月内共经历了三次暴雨,与对照组中传统的喷混植生技术相比较,“镀锌铁丝网+植生条+主动防护网”的支撑加固组件具有显著地固土作用,能够减轻降雨对植物生长基材的冲刷所造成的水土流失,增强了边坡的稳定性。

参考文献

- [1] 路传新,马哲录. SNS 柔性主动防护网在露天矿山高危边坡支护中的应用 [J]. 采矿技术, 2012, 12 (5): 59-60.
- [2] 李旭光,毛文碧,徐福有. 日本的公路边坡绿化与防护——1994 年赴日本考察报告 [J]. 公路交通科学, 1995, 12 (2): 59-64.
- [3] 周颖,曹映泓,廖晓瑾,等. 喷混植生技术在高速公路岩石边坡防护和绿化中的应用 [J]. 岩土力学, 2001, 22 (3): 353-356.
- [4] 深圳市市场监督管理局. SZDB/Z 31—2010 边坡生态防护技术指南 [S]. 深圳市: 深圳市市场监督管理局, 2010.
- [5] 袁银,廖浩斌,刘永金,等. 深圳市生态修复裸露边坡的植物群落特征研究 [J]. 广东林业科技, 2013, 29 (3): 60-65.
- [6] 孙发政. 类芦的固土护坡性状及其生产应用价值 [J]. 草原与草坪, 2004 (1): 66-69.
- [7] 沈彦,沈文雅. 藤本植物在深圳采石场边坡生态修复中的应用 [J]. 亚热带水土保持, 2012, 24 (2): 40-41.
- [8] 吴泽鹏,朱报著,梁启英,等. 广东省爬山虎属植物可利用资源状况及其评价 [J]. 广东林业科技, 2003, 19 (3): 32-34.