

# 植生水泥土绿站生产一体化作业施工技术

马凤来, 杨永臻

(中交一航局第二工程有限公司)

**摘要:** 随着交通建设的高速发展, 各种公路边坡防护和生态修复成为必然, 植生水泥土是目前使用较多且防护效果较好的一种边坡生态修复技术。平南高速№2 合同段项目在推广应用植生水泥土边坡防护技术时, 为确保植生水泥土配合比施工过程控制的准确性, 提高生态基材拌合施工效率, 针对该工艺施工需求量大、作业点多等特点, 结合项目地质要求和气候特征, 通过配合比设计研究及绿站建设、集中厂拌设备的研究及建设, 对植生水泥土喷植技术进行优化, 形成了一套因地制宜的高效施工技术, 对提高基材成品质量、加快边坡防护速度、优化绿色环保评价、促进品质工程建设起到了重要作用。

**关键词:** 植生水泥土; 边坡防护; 配合比; 集中厂拌

## 1 工程概况

平南高速№2 合同段位于南宁市境内, 标段主线长度 39.676 km。全线设计时速 120 km/h, 采用标准双向六车道建设。标段内路基挖方 1 410 万  $\text{m}^3$ 、填方 625 万  $\text{m}^3$ , 设置含匝道主线桥梁 26 座, 共 4 503 m(单幅)、预制梁 2 461 榀, 隧道 2 座, 共 3 547 m(双幅), 另设置 2 处互通立交和 1 处服务区。全线原设计路堑边坡共计 109 处, 总防护面积 20.5 万  $\text{m}^2$ , 经变更后, 植生水泥土边坡防护面积 17 万  $\text{m}^2$ 。

## 2 施工工艺

### 2.1 植生水泥土工艺原理

植生水泥土是在土壤中掺拌水泥、生境改良剂、有机肥、椰糠、稻壳等生态材料, 使其具备一定强度的同时, 能够按照提前掺拌的植物种子生长植物, 达到边坡防护及恢复生态的效果<sup>[1-2]</sup>。植生水泥土护坡属于半刚性结构, 水泥用量 60~120  $\text{kg}/\text{m}^3$ , 基材喷覆到坡面上, 水泥凝固后即具备独立的浅层防护功能, 在抗冲刷和坡面封闭性能上可以取代混凝土骨架护坡、喷射混凝土护坡等传统圬工防护形式, 同时具备生境构筑功能, 可以在较短时间内实现对岩土创面、人工坡面、圬工界面的生态修复, 是代表国内生态防护创新的先进实用技术。

### 2.2 一体化作业技术措施

绿站指边坡绿化与生态防护基材集中拌合站, 基于“白站”、“黑站”等行业习惯用语命名为绿站,

其中主要应用设备为植生水泥土生态基材集中厂拌系统。植生水泥土生态基材集中厂拌系统和连续喷植系统, 组成植生水泥土护坡生态基材生产、喷植一体化生产线, 形成植生水泥土生态基材绿站生产一体化作业施工技术。

其中, 植生水泥土生态基材集中厂拌系统由土壤筛分加工系统、主辅分离自动配料系统、立式双向强制搅拌系统、熟料输送装车系统等 4 个子系统组成, 各系统之间通过皮带或密封管道相连通。主材料中的土壤、生境改良剂、有机肥、椰糠、稻壳等原材料通过自动配料机称重后再由皮带输送机输送至主搅拌机; 水泥则通过螺旋密封管道输送至自动配料系统称重后再进入主搅拌机和其他物料一起搅拌<sup>[3]</sup>。所有原材料通过自动称重准确配料、自动传输至搅拌机, 整个配料过程全自动计量, 保证了植生水泥土配合比的精确度。同时, 整个拌合系统自动化运行, 通过 PLC 电路集中控制, 拌合效率高, 能够充分满足现场施工速度的需要。植生水泥土连续喷植系统由储料仓、自动喂料仓、多机联动喷射机组组成, 用于现场喷播。一体化作业技术是针对传统工法——小型设备分散搅拌生产+单机组间歇喷植施工技术的优化。

## 3 生产应用及研究

### 3.1 配合比设计

#### 3.1.1 基材配比设计

植生水泥土生态基材分 2 层设计。主要的防

护功能通过基层实现,水泥用量的最低值为  $60 \text{ kg/m}^3$ ;面层主要用于植物种子育苗,水泥用量适当减少,一般设计为  $40 \text{ kg/m}^3$ 。水泥掺拌量设计需考虑坡率、坡面地质等因素。坡率增大,坡面岩石硬度增加、完整性增加,对植生水泥土的坡面附着能力和抗冲刷能力要求提高,基层水泥用量相应增大。

掺用有机物料的主要目的是改善植生水泥土的宏观结构以及增加有机质含量,常规要求的掺量是土壤体积的 25%~35%。陡坡喷植时,回弹量大,要求增加基材黏度,可以适当减少有机物料的掺量。

本项目膨胀土路段较多,通过减少有机物粒径调整植生水泥土空隙状况,通过增加水泥掺量或者适当增加 POM 抗渗纤维调节整体抗渗系数。

### 3.1.2 植物种子配比设计

针对广西地区台风影响大,速生灌木、乔木

容易被破坏的特点,本项目 CBS 植被混凝土护坡的植物配置不考虑山毛豆、木豆、猪屎豆等速生灌木和银合欢等速生乔木。草灌结合是恢复生态学的基本观点,为形成多物种的生态系统,适当的灌木配置是有必要的,特别是豆科植物,有固氮造肥功能,是生态修复植物配置中不可缺少的类型。常青、开花灌木对于路域景观的提升有很大帮助,因此,CBS 植被混凝土护坡的植物配置基本思路是在保证良好的视线效果和抗风效果的前提下,草灌结合,尽可能延长植被的绿期和花期,分坡级控制生态系统的整体高度,加快与周边植被的融合。

### 3.1.3 植生水泥土生态基材配合比

本项目施工工期短,地处广西南宁多雨地区,沿线边坡较多,具有繁重的施工任务和边坡局部垮塌风险等特点,通过对比试验,结合绿化要求,设计了符合相关要求的配合比,见表 1。

表 1 基材配合比(每  $10 \text{ m}^3$ )

护坡类型	适合土质	适合坡率	结构层	厚度/cm	种植土/ $\text{m}^3$	水泥/kg	稻壳/ $\text{m}^3$	椰糠/ $\text{m}^3$	生境改良剂/kg	有机肥/kg	复合肥/kg	合成纤维/kg
A 型	膨胀土	1:1.5	面层	2	10	400	1	1	400	150	3	3
			基层	8	10	700	—	2	600	200	5	4
B 型	非膨胀土	1:1	面层	2	10	400	2	1	400	150	3	—
			基层	8	10	600	2	1	540	200	5	—

土壤采用经过筛分后粒径  $\leq 10 \text{ mm}$ 、含砂率  $\leq 20\%$ 、含水率  $\leq 15\%$ 、pH 值在 4.0~8.5 的黏土。现场储备的原料土过筛后运输至绿站厂内集中存放,避免雨淋板结。水泥采用散装普通硅酸盐水泥 P.O42.5,不得采用复合硅酸盐和矿渣硅酸盐水泥等。生境基材改良剂采用三峡大学润智生态研究院生产的,有效活菌数  $\geq 1.0 \times 10^6 \text{ cfu/g}$ 、pH 值 2.5~5.5、含水率  $\leq 20\%$ 、亚甲基蓝吸附值  $\geq 0.13 \text{ mg/g}$ 。有机肥采用牛、羊粪便肥或植物残骸粉末状有机肥,尽量避免使用颗粒状有机肥。有机质(椰糠、稻壳)粒径  $\leq 8 \text{ mm}$ (颗粒状)、纤维长度  $\leq 50 \text{ mm}$ (纤维状)、含水率  $\leq 20\%$ 。复合肥采用硫酸钾型氮、磷、钾等,合成纤维采用合成高分子聚丙烯纤维。

## 3.2 施工工艺应用

### 3.2.1 施工流程

施工流程主要包括生态基材集中拌合、运输和喷植,具体施工流程图如图 1 所示。

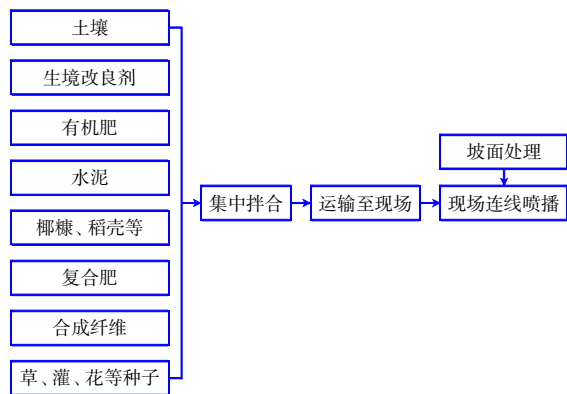


图 1 施工流程图

### 3.2.2 坡面处理

边坡开挖完成后将边坡浮渣及突出大粒径填料、危石及时处理,若发现边坡存在冲蚀沟壑,必须采用土袋或植生袋等将其填充到位,确保坡面斜度、平整度满足设计要求。植被混凝土护坡施工前,应在坡顶及各级平台设置截水沟。

坡面处理干净后挂铁丝网,铁丝网与坡面通过4 cm梅花垫块间隔,起保护层作用。铁丝网采用14号( $\phi 2$  mm)镀锌勾花铁丝网,网孔尺寸为6 cm $\times$ 6 cm,网间搭接长度为15 cm,搭接采用铁丝连接。铁丝网通过限位锚钉固定在坡面,限位锚钉采用 $\phi 16$  mm螺纹钢制作,按缓坡间距2 m $\times$ 4 m、陡坡间距2 m $\times$ 2 m锚固。较为光滑的岩质坡面,或坡率大于1:0.75的陡坡,应设置植生棒,植生棒安装在铁丝网下面,通过限位锚钉和扎丝与铁丝网连接牢固。

### 3.2.3 植生水泥土生态基材拌合

所有材料按照设计配合比要求,在绿站内通过植生水泥土生态基材集中厂拌系统进行自动拌合。各类材料、添加剂的配置,应使用定量容器(如铁桶),误差不得超过0.5 kg,在搅拌设备内需拌合3~5 min。植物种子应提前混合好1个工班的用量,计算每罐的分配量,使用量筒添加。植被混凝土护坡的基层和面层配合比是不一样的,为了避免混淆和施工失误,每0.5工班先拌合好足够数量的面层物料,单独储放,再拌合基层物料<sup>[4]</sup>。

### 3.2.4 现场喷植

材料厂拌完成后由皮带机传送至自卸车运抵现场,材料拌合与喷植作业间隔时间不得超过4 h,防止因水泥初凝影响基材喷植强度。材料运至现场后,由装载机导入干喷机,对边坡进行植生水泥土喷植作业,喷作按自上而下,逐层喷植。喷植作业时喷管头应与坡面保持垂直,且与坡面距离控制在2 m范围内。喷植植被混凝土分为基层和面层2层,其中基层厚度为8 cm,面层厚度为2 cm,基层主要作用为坡面防护和植物培养基过渡,面层用于掺拌植物种子。喷植前,先用高压水冲洗、湿润坡面。缓坡喷植可以在基层完成一定面积后再集中喷面层。喷植设备一般使用转子喷射机进行喷植,推荐采用双机组自动上料喷射机,喷植面积较大时,可采用混凝土喷射台车进行喷植。

### 3.2.5 现场养护

植被混凝土生态基材喷植完成后24~48 h区间内启动养护管理,养护内容主要包括洒水养生、病虫害防治和局部修复;水分补充主要以喷灌方式进行,针对特殊高陡岩石坡面,可考虑设置微渗养护系统的养护方式。幼苗生长期严禁发生缺

水现象,发现病虫害,及时防治防止蔓延,由于施工、养护等其他原因造成的局部斑秃现象,及时修复。

在植被混凝土护坡表层覆盖无纺布,为混合植绿物种快速发芽创造良好生长环境,如需移栽灌木,移栽灌木部位无需无纺布覆盖。无纺布的覆盖应与坡面接触保持紧密、防止风吹。当整体坡率小于1:0.5时采用无纺布覆盖,保墒、防晒;整体坡率大于1:0.5时,采用遮阳网进行覆盖养护。具备大面积施工条件的坡面,可设置喷灌系统进行标准化养护。待植物生长高度10 cm后可剥离养护绿网,根据植物生长和气候,降低洒水频率。

### 3.2.6 操作要点

按照设定的基材配合比进行配料、严格执行操作规程;每天出料完成后要对原材料进行复核,消耗用量与设计用量进行对比,重点复核生境改良剂、水泥、有机肥的用量,通过复核能反映出配料称重系统是否准确。每天及时复核原材料实际消耗和理论用量的差值,及时掌握材料用量和检测称重计量是否准确。进行自动称重计量时,若发现实际计量值与设定值不符,可通过“落差补偿”按钮进行补偿。成品运输过程中要全程用篷布覆盖,防止下雨淋湿和途中洒落。喷植过程中随时检测喷植厚度,并按规定做无侧限抗压试块。

## 4 综合效益分析

### 4.1 经济效益

植生水泥土生态基材集中厂拌连续喷植作业可生产生态基材25 m<sup>3</sup>/h,正常可生产200 m<sup>3</sup>/d,折合可喷植基层面积2 500 m<sup>2</sup>,可喷植面层面积10 000 m<sup>2</sup>。可同时满足至少4个工作面施工,供应8台干喷机连续作业。与传统的小型滚筒搅拌机现场搅拌工效相比提高3倍,100 m<sup>3</sup>生态基材消耗柴油27.4 L、耗电360 kW $\cdot$ h,传统工艺采用小型搅拌机搅拌,每100 m<sup>3</sup>需耗油219 L,油电消耗可节省约2 000元。结合人工、设备投入,采用该技术较传统工艺可节省34.25元/m<sup>3</sup>,具有良好的经济效益。

### 4.2 绿化效果

植被混凝土技术在本项目的多种坡面性质和不同坡比的实施过程中,深度体现了植被混凝土生态护坡技术的综合优势,在经历了2 a多的考验后,基材整体稳定、肥力持久、植物立体效果

慢慢凸显,达到的技术、经济指标为:植被混凝土生态修复基材在20次气冻气融循环后,基材无侧限抗压强度大于0.38 MPa;生态修复基材在暴雨(80 mm/h)条件下侵蚀模数小于 $100\text{ g/m}^2\cdot\text{h}$ ;生境基材活化方法使微生物量提高25倍以上;采用新型生态护坡基材构筑方法及纤维加筋方法,使基材抗剪强度比加筋前提升1倍以上,整体稳定性提高22%以上,植物根系生长空间增加10%;通过配合比的优化研究,提出了适合广西自然环境的施工配合比,实现了边坡稳定防护和绿化一次成活率达95%以上的效果。

#### 4.3 技术先进性

植生水泥土的基材配合比是影响植生水泥土生态修复效果的重要因素之一,基材拌合效率也影响着植生水泥土的推广和施工效率。目前工程中通常根据坡面实际情况确定基材配合比后,在现场对各种材料进行称量,就地采用小型滚筒搅拌机进行拌合,搅拌机在现场完成搅拌后并随之施用于坡面施工。通过建设绿站,集中拌合植生水泥土生态基材解决了以往沿用传统的人工配料、现场拌合方式,工艺简陋、配合比不精准、生产效率低等弊端。一体化施工技术采用多机组连续供料、不间断喷植,属全国首例,搅拌、运

输、喷植一体化,边坡开挖后可以快速封闭,形成半刚性护坡结构,真正落实“开挖一级、防护一级”的防护要求,避免边坡防护开挖期因长期裸露导致局部垮塌和水土流失。

#### 5 结语

以提高施工质量及效率为导向,植生水泥土生态基材绿站生产一体化作业将生态基材搅拌、运输、喷植形成连续标准化作业,改变了传统施工理念。平南高速No2合同段采用该项技术应用边坡防护面积达 $17\text{万 m}^2$ ,施工完成时间2 a以上,经历了完整的雨季,防护效果良好。实践证明,该技术提高了施工工效和施工品质,为落实“开挖一级、防护一级”的防护要求奠定了技术基础,同时节约了施工成本,综合效益良好,具有推广应用价值,可为类似工程施工提供借鉴。

#### 参考文献:

- [1] 韩启斌,李朋远.基于主动防护网的喷混植生技术应用研究[J].广东林业科技,2015(2):136-141.
- [2] 夏春梅,程兴旺,陈忠奎.CBS生态基材喷坡技术在矿山边坡治理中的应用[J].城市建设理论研究,2013(5):126-128.
- [3] 王华.一种公路植生水泥土护坡基材集中厂拌生产线:202223251098.7[P].2023-05-30.
- [4] 王飞.植被混凝土生态修复技术在边坡防护的应用[J].价值工程,2023(25):131-133.