

# 码石扦插联合生态护坡技术研究及其应用

顾岚, 高甲荣, 王颖, 钱斌天, 王越, 郭维

(北京林业大学 水土保持和荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083)

**摘要:**为探讨码石扦插柳干措施在边坡治理中的适用性,系统地介绍了该技术的施工方法,并对其生态效果进行了调查。以北京市延庆县上辛庄水土保持试验示范基地码石扦插柳枝护坡小区为例,对扦插植物生长情况、根系生物量和土壤理化性质进行了调查分析。结果表明:完工 4 a 后,试验小区旱柳成活率达到 94.19%,旱柳生长状况良好,枝繁叶茂,坡面生境得到较快恢复,物种多样性增加,土壤理化性质有所改善,坡面稳定性增强,土壤剪切力增大,水土保持效果显著。最后总结了码石扦插联合措施在边坡防护中的施工要点以及后期管理措施,以期实现该技术的推广应用。

**关键词:**生态护坡;土壤生物工程技术;码石扦插联合技术;扦插

中图分类号:TV861

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)01-0222-04

## Construction and Application of Willow Cutting and Riprap Stacking Technology for Side Slope Protection

GU Lan, GAO Jia-rong, WANG Ying, QIAN Bin-tian, WANG Yue, GUO Wei

(Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification

Combating of the Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** In order to discuss the suitability of willow cutting and riprap stacking technology methods used in side slope management, the construction method of joint planting is introduced and the functions of the method including strengthening riprap stability, purifying soil quality, improving habitat and beautifying the landscape, are discussed. Using the willow cutting and riprap stacking technology in demonstration basement, Yanqing County as the case, the performances of cut plants, root biomass and shoot bends are investigated. The results show that the *Salix matsudana* grows well. Survival rate of *Salix matsudana* after four years construction reaches 94.19%. The *Salix matsudana* has a deeper root system and has a good reinforcing function in the deep soil. What's more, it has satisfactory bending and restorable properties. Flexible and bending branches cover the slope and protect slope from water erosion. At last, this paper discusses the construction characteristics and key implementation points of willow cutting and riprap stacking technology in order to popularize and apply this method.

**Key words:** ecological embankment; soil bioengineering; willow cutting and riprap stacking technology; cutting

铁路、公路、堤坝等工程建设对社会和经济的发展有着非常重要的作用,但同时带来了严重的环境问题。各类边坡的环境条件普遍较差,特别是开凿山体与填埋沟谷形成的边坡大多呈现出土石裸露、侵蚀和滑坡相当严重的景象<sup>[1-2]</sup>。随着我国边坡防护的迅速发展,人们对其建设的质量提出了更高的要求,不仅要求能够有效地防止坡面水土流失、巩固路基、路

垫,还要能美化和改善环境。

以前通常采用的钢筋混凝土和封闭防护措施虽能在一定程度和时间内解决侵蚀与滑坡的问题,但在人们对绿色生态环境的要求日益高涨的今天,施工复杂、造价昂贵且缺少生态效益的混凝土或砌石挡墙越来越得不到人们的青睐。相反,价格低廉的生态植被护坡工程正日趋受到重视,表现出更佳的护坡效果与

收稿日期:2011-07-14

修回日期:2011-09-07

资助项目:国际科技合作项目(2009DFA32490);林业公益性行业科研专项(200904030)

作者简介:顾岚(1989—),女,内蒙古巴彦淖尔市人,硕士生,研究方向为山地灾害防治工程。E-mail:gulanhong68@163.com

通信作者:高甲荣(1963—),男,陕西省韩城县人,教授,研究方向为水土保持。E-mail:jiaronggao@sohu.com

生态效益,成为稳定边坡、侵蚀控制和生态修复的重要工程手段。

土壤生物工程就是一种边坡生物防护工程技术,采用有生命力的植物根、茎(杆)或完整的植物体作为结构的主要元素,按一定的方式、方向和序列将它们扦插、种植或掩埋在边坡的不同位置,在植物生长过程中实现加固和稳定边坡,控制水土流失和生态修复的集成工程技术<sup>[3-5]</sup>。本文详细阐述土壤技术工程技术中的一种——码石扦插联合技术<sup>[6]</sup>,以实现该技术的推广应用。码石扦插联合技术在充分利用植物自身特点的同时又结合了必要的工程防护,起到工程建设与环境保护兼顾的目的。该技术简单易行,柳条来源丰富、易获得、易成活、复绿快,对边坡可以起到保持水土、减轻径流和雨滴侵蚀的作用,有利于边坡保持稳定,保土效果明显。

## 1 码石扦插联合技术护坡技术的构建

### 1.1 护坡原理

目前,我国关于土壤生物工程的研究主要是针对各种工程(公路、铁路、工业民用建筑、矿山、水利水电工程等)及农业活动所形成的具有一定坡度的斜坡、堤坝、坡岸、坡地和自然力量(如侵蚀、滑坡、泥石流等)形成的山坡、岸坡、斜坡进行治理和生态修复,其主要任务是既能够稳定边坡和控制水土流失,还能确保边坡植被水平、垂直结构合理,使得生态系统演替有序,景观优美。

码石扦插联合技术是在土质边坡上顺坡码放块石或卵石,在石块缝隙扦插柳条进行植被恢复。一般边坡所遭受的土壤侵蚀为水蚀,即在水力作用下,边坡土壤表层及其母质被剥蚀、搬运和沉淀的过程。码石扦插联合技术中码放的块石可以很好地固定表土,同时对易侵蚀的下层土壤起到保护作用。降雨时,可防止土壤不直接遭受降雨的袭击,使得降水自然下渗,减小形成坡面径流的可能性。此外,由于块石自身的重力和它们之间的相互作用,增加了坡面的强度和稳定性。在块石缝隙中扦插的柳枝生根后可以将岸坡的土壤颗粒固定在一起,吸收多余的土壤水分,通过根系锚固土壤的作用稳固坡面土壤,减少浅坡下滑。植物的枝叶还可拦截降雨防止坡面溅蚀<sup>[7-9]</sup>。

码石扦插联合护坡技术可同时满足岸坡稳定和植物生长对土的不同需求,既利用植物防护土坡,形成生物生长的近自然状态,同时块石又可加固浅层土和一定埋深土以提高其强度和耐久性,实现护坡工程的安全性、生物性和景观性。

### 1.2 护坡结构设计及施工要点

扦插是利用植物的再生作用,人为增加植物个体的一种方法,其实是枝条在坡面作为“点”的布设。选取柳干直径为 2~3 cm,长度为 60~90 cm 的可生根植物枝条,块石规格为 20~40 cm。施工前首先将试验小区的坡面进行平整,在坡面上用白石灰标记扦插柳干的位置,株行距为 0.5 m×0.5 m。然后将块石自下而上顺序码放,码放时块石立置,遇白灰标记处用直径 3 cm 的钢钎打孔,并与坡面大致垂直插入合适的柳干,枝条上部用修剪剪刀在靠近坡面土壤处修平。柳干的埋深要大于 0.5 m,露出地面部分高 30 cm,然后继续码石,块石码放及柳条(干)扦插完成后,用掺有经过催芽处理后植物种子的土壤填充块石间隙,每 1 m<sup>3</sup> 土壤掺干种子 250~400 g,将柳干与插孔的孔隙填土使之密实,柳干露出石块高度应小于 30 cm(图 1)。施工完成后及时将柳干顶端以油漆封口,减少水分蒸发。浇透水,确保插孔内有充足的水分供柳干生根发芽。

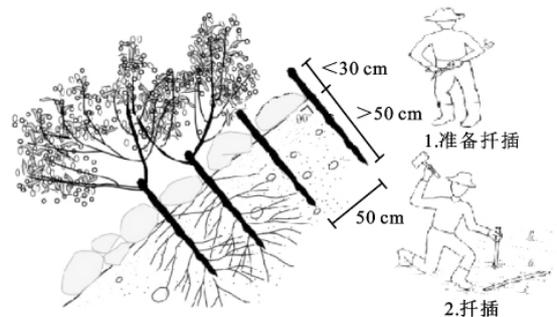


图 1 码石扦插联合技术护坡技术施工图

应用码石扦插联合技术护坡时应注意在坡脚设透水挡墙,坡顶设排水沟。用于河道护坡时,应设反滤层。扦插应选在春季柳条发芽前进行,若在生长期进行扦插,则因地上部分发芽后抽条过快,消耗根系生长的养分,影响成活率。扦插植物材料不宜从外地进苗,以确保出苗后适应当地生长环境。草种也要选择当地适生的乡土植物种。此外,为草类生长而在码石表面进行的覆土应使之完全进入码石间的缝隙,码石表面无浮土存在,以减少因浇水、降雨而可能产生的土壤流失。施工结束后要及时浇水,以利于扦插枝条、草种顺利发芽。由于柳枝生命力旺盛,施工后无需特别养护,可在完工后 1 个月内将未发芽的柳干进行更换,及时补换新柳干。对于护坡块石间隙的野草,采取保留措施以加快和增强坡面绿化效果。

## 2 护坡研究

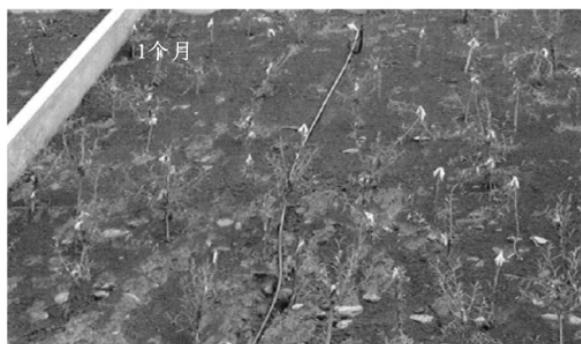
### 2.1 研究区概况

试验小区位于北京市延庆县上辛庄水土保持试验示范基地,延庆县地处东经 115°44′—116°34′,北

纬  $40^{\circ}16'$ — $40^{\circ}47'$ , 属大陆性季风气候, 冬冷夏凉, 年平均气温  $8^{\circ}\text{C}$ , 是著名的避暑胜地, 有首都北京的“夏都”之称。全境平均海拔 500 m 左右, 属于官厅水库上游一级支流妫水河流域。年均降水量为 470 mm, 接近于半干旱地区年平均降水量。护坡工程应采用近自然生态方式进行, 提高雨水利用效率, 以保障坡面植被成活率。示范基地小区规格为  $5\text{ m}\times 10\text{ m}$ , 坡比 1:1, 石质边坡, 面积  $50\text{ m}^2$ , 扦插植物材料选取当地的本土树种旱柳 (*Salix matsudana*)。工程于 2007 年 6 月下旬施工, 7 月中旬完工。

## 2.2 监测方案

植物的生长特性和适宜性是土壤生物工程各种措施成功与否的重要条件, 是护坡效果的重要指标。采用现场测量和随机挖掘的方法, 对块石护坡中扦插旱柳的生长特性进行全面观察, 并对该坡面完工 1~2 个月后扦插枝条的萌芽率、成活率和生物量进行调查, 对完工 1 a 以及 4 a 后扦插枝条的成活率、生长高度、枝条基径和盖度进行监测。并且对原始坡面和完工四年后的坡面土壤进行取样分析, 从而探讨码石扦插旱柳作为土壤生物工程措施的一种在北京地区的适宜性以及边坡防护的效果。



## 2.3 植物生长情况分析

植物的生长情况会影响后期护坡的效果和控制水土流失的能力<sup>[10]</sup>, 是码石扦插联合技术成败与否的关键。在 2007 年 8 月, 即完工 1 个月后实地调查监测显示, 旱柳的萌芽率和成活率都在 90% 以上, 表明旱柳在试验区具有良好的适应性。2007 年 9 月, 测得每株扦插新生枝条平均生物量为 13.78 g。9 月下旬时, 对部分未发芽的柳干进行更换, 更换 6%。2008 年春季时对枯死柳干及时补换新柳干, 更换 7%。2007 年 7 月施工 1 a 后的调查结果显示, 试验小区旱柳成活率达到 95%, 植被覆盖率超过 70%, 边坡防护效果相当显著。2011 年 6 月 15 日, 完工 4 a 年后的调查结果显示, 试验小区的旱柳成活率可以达到 94.19%, 旱柳新生枝叶繁茂, 每株扦插枝条平均生物量可达到 237.15 g, 平均基径 1.12 cm, 平均株高为 133.64 cm。从生长情况来看, 旱柳在北方地区水分条件良好的情况下, 短期内就能达到一定的景观效果和改善栖息环境的效果, 是一种适宜生态护坡构建的植物材料。工程完工 1 a 后及 4 a 后对比图见图 2。



图 2 北京市开发建设项目水土保持试验示范基地码石扦插柳干护坡

## 2.4 护坡效应

植物根系对边坡稳定性至关重要, 土壤剪切力或黏结力与土壤根系的生物量成正比<sup>[11]</sup>。应用码石扦插联合技术对边坡进行绿化后, 边坡植物的存在为生物提供了生存和繁殖的环境, 增加了生物多样性, 新增植物有狗尾草 (*Setaria viridis*)、灰绿藜 (*Chenopodium glaucum* L.)、节节草 (*Commelina diffusa*)、委陵菜 (*Potentilla aiscolor* Bunge) 等多种草本植物, 这些植物的枝叶和根系增加了岸坡的抗侵蚀能力。通过现场挖根测定, 完工 4 a 后单株旱柳的根系生物量比完工 1 a 后平均增长了 56%, 单位面积 60 cm 深土壤中根系生物量较完工 1 a 后增长了 62%, 大大提高了土壤抗侵蚀、抗冲刷强度。

通过在原始边坡及完工 4 a 后的小区表层各

取土样 50 g, 测定土壤中有有机质、全氮、速效磷、速效钾、pH 值等理化指标的变化。数据显示, 土壤中速效磷、速效钾含量都有所增长, 土壤 pH 值降低了 0.06, 全氮含量变化不大, 说明坡面种植的植物对土壤钾、磷等营养元素的转化和有效性具有明显影响, 促进了土壤有机质的矿化作用, 此外, 码石扦插生态植被护坡促进了坡面土壤腐殖质的合成, 增加了土壤有机质的含量, 提高土壤的保水保肥性能, 土壤理化分析结果见表 1。此外, 植物可通过蒸腾作用带走大量热量, 提高空气湿度, 产生明显的降温效果。植物在夏季吸收日光能可达  $25\ 449.979\text{ J}$ , 使环境温度下降  $3.8^{\circ}\text{C}$ , 使每昼高温持续时间缩短 3 h。植物还可吸收空气中的有毒物质, 削减噪音<sup>[12]</sup>。总之, 通过植物措施可以改善边坡小气候, 营建健康、清洁的坡面环境。

表 1 工程实施 4 a 后土壤理化性质变化情况

边坡设置	全氮/(g·kg <sup>-1</sup> )	速磷/(mg·kg <sup>-1</sup> )	有机质/(g·kg <sup>-1</sup> )	速 K/(mg·kg <sup>-1</sup> )	pH
原始边坡	0.22	20.90	17.73	60.24	8.51
码石扦插柳干护坡	0.21	23.11	25.83	72.73	8.45

### 2.5 工程示范案例

2005 年 3 月,在位于北京市官厅水库的黑土洼库岸采用了码石扦插护坡技术进行塌岸治理。所防护塌岸高 6 m,塌岸脚下为宽 10 m 的库滨带,坡比为 1:4,黄土坡体,工程实践长度 100 m,护坡总面积 600 m<sup>2</sup>,所用柳干直径 3~5 cm,埋深 1 m,露出地面部分高 30 cm。工程工期 2 个月,5 月 30 日完工。2006 年 4 月的调查结果显示,项目区柳干成活率达到 93%,2007 年夏季调查植物长势良好,成活植被覆盖率超过 90%,边坡防护效果相当显著。

## 3 结 语

建设生态护坡对维护坡岸生态系统的完整性与正常功能具有非常重要的意义,我们在进行坡面治理时,应该在确保护坡稳定性的基础上坚持生态优先的原则,尽量建设与周围环境相协调的边坡景观。植物对边坡的稳定性至关重要,植物覆盖可阻止地表侵蚀,根系可稳固边坡土壤,提高土壤剪切力。运用码石扦插技术进行生物护坡建设,具有生态、经济和美学优势。通过采用该技术,边坡的物种数量明显增加,为其他物种(包括动物和植物)的生长创造了良好生境。随着植物群落的长成和成熟,植物根系的生长和扩张,边坡生态系统更加完善和稳定,对控制水土流失和土壤侵蚀,对整个坡面生态系统和坡面土壤的改善作用越来越明显和突出。

针对不同的坡岸情况,譬如坡面的地质、地形、气候、水文条件等自然因素,应因地制宜地选择坡面加固技术至关重要。码石扦插柳干技术适用于坡比缓于 1:1.5,土层厚度大于 30 cm 的土质边坡。工程完工后,浇水不宜过勤,否则会冲刷柳条新发根系,致使根系过浅不利于后期生长。

码石扦插联合技术护坡技术作为土壤生物工程的一种,虽然拥有众多优点,如果不严格遵守施工

原则,单纯为了达到治理的目的而不考虑环境的适应性,土壤生物工程的意义也就无从谈起。今后的研究方向可放在不同地区和地点,边坡乔灌草种的最佳组合、限制或促进物种存活的生物和物理因素上,以建立稳定的坡面植物群落,实现更好的稳固边坡效果。

#### 参考文献:

- [1] 周成. 植被防护土坡的计算方法[M]. 北京:中国水利水电出版社,2008.
- [2] 张剑飞. 中国公路发展与展望[J]. 交通运输系统工程与信息,2006,6(1):9-11.
- [3] United State Department of Agriculture. Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction[M]. Natural Resources Conservation Service,1992.
- [4] Li M H, Eddleman K E. Biotechnical engineering as an alternative to traditional engineering methods; A biotechnical stream bank stabilization design approach[J]. Landscape Urban Planning,2002,60:225-242.
- [5] 李小平,张利权. 土壤生物工程在河道坡岸生态修复中应用与效果[J]. 应用生态学报,2006,17(9):1705-1710.
- [6] 北京市水务局. 建设项目水土保持边坡防护常用技术与实践[M]. 北京:中国水利水电出版社,2009:40-45.
- [7] Daily G C. Natures Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems[M]. Washington DC: Island Press, 1997:38-42.
- [8] 高甲荣,刘瑛,Hanspeter Rauch. 土壤生物工程在北京河流生态恢复中的应用研究[J]. 水土保持学报,2008,22(3):152-157.
- [9] 徐锡荣,唐洪武,宗竞,等. 长江南京河段护岸新技术探讨[J]. 水利水电科技进展,2004,24(4):26-39.
- [10] 娄会品. 土壤生物工程在北京山区公路绿化中的应用[J]. 中国水土保持,2010(3):15-18.
- [11] 陈小华,李小平,张利权. 河道生态护坡技术的水土保持效益研究[J]. 水土保持学报,2007,21(2):32-35.
- [12] 刘瑛,高甲荣,张金瑞,等. 扦插—抛石联合技术的构建与应用[J]. 水利水电科技进展,2009(8):47-50.