

植被混凝土技术在无锡市雪浪山 B 标复绿工程中的应用

谢 涛¹,徐小军²,许文年³,程 洪¹

(1. 南昌工程学院,南昌 330029;2. 广东省水利水电科学研究院,广州 510610;3. 三峡大学,宜昌 443002)

摘 要:植被混凝土绿化技术是一项针对高、陡、岩石及水泥等边坡防护绿化的新技术。通过于 2004 年 11 月 1 日至 2005 年 6 月 30 日,在无锡雪浪山宕口 B 标段岩质边坡治理的实际应用,结果表明这项技术在无锡雪浪山宕口 B 标段的应用是成功的,能够达到保持水土、绿化边坡、生态恢复的效果;同时,进一步明确了该技术的应用范围、技术关键、施工工艺。

关键词:植被混凝土;防护绿化;岩质边坡;保持水土;生态恢复

中图分类号:X171.1;S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2007)02-0059-03

Application of Vegetation Growing Concrete to Stabilization and Embankment of Steep Slope on the B Section of Xuelang Mountain in Wuxi City

XIE Tao¹,XU Xiao-jun²,XU Wen-nian³,CHENG Hong¹

(1. Nanchang Institute of Technology, Nanchang, 330029, China;

2. Guangdong Water Conservancy Academy, Guangzhou 510610, China;

3. Three Gorges University, Yichang 443002, China)

Abstract:Vegetation growing concrete is a new technique which is applied in rocky slope such as highway's steep slope. It was used from December 1, 2004 to June 30, 2005 to protect and regreening slope on the B section of Xuelang mountain in Wuxi City. The result shows that this method is successful in this project. And it plays a very important role in regreening slope, reducing water and soil loss, and ecological restoration. It's application scope, technology key point and method route is made definitely.

Key words:vegetation growing concrete; protecting and regreening; rocky slope; water and soil conservation; ecological restoration

据资料,国内运用喷播、挂网喷播技术对边坡进行绿化,在一定程度上解决了边坡裸露控制水土流失的问题;但只起到短期如 3 个月的绿化,其缺点是不耐冲刷,遇到暴雨或强暴雨天气,则容易产生滑坡。在我国城市化的过程中,各种基本建设项目,例如修建铁路、码头等,需要大量的石料,必须开山采石,产生了大量的裸露岩质边坡。以深圳市为例^[1],据调查,全市城市建设造成裸露山体缺口达 669 个,其密度达到 0.33 个/km²。为了更好地解决我国裸露边坡带来的水土流失,达到生态修复而三峡大学研制开发出的植被混凝土绿化新技术在高、陡、岩石、水泥边坡防护绿化方面有较好的作用。

1 植被混凝土绿化技术理论关键及其应用范围

植被混凝土绿化技术是沿着以喷射特定配方具有抗冲刷能力的植生土壤的思路研制出来的一种新方法。它是用壤土、水泥、腐殖质、添加剂、草种和水组成的配方、经搅拌,使用传统喷锚工艺和机械将它喷射到坡面。由于配方合理,成功实现了植生条件(植被混凝土)的固定,植被混凝土牢固粘结在坡面上,且经受住了暴雨的袭击,具备较强抗冲刷能力,同时实现了快速和永久绿化。广泛应用于土质边坡、岩石(含人工砌石)边坡、混凝土(含混凝土面板)边坡等各种结

构的边坡,从缓边坡到陡边坡,甚至直立边坡。

2 该技术在无锡市雪浪山宕口 B 标段的具体应用

2.1 项目区自然状况

项目所在地区属亚热带季风气候区,区内降雨主要由春末夏初的冷暖气候交替形成的锋面雨和秋季的台风暴雨为主,雨量充沛。年平均降雨量为 1 400 mm 左右,年平均气温为 16℃。植被以构骨、马尾松、继木、香樟树等为主,经济树种有茶叶。

2.2 项目区概况及地质情况调查

无锡市滨湖区雪浪山宕口 B 段边坡绿化工程位于无锡市西南部雪浪镇,因山顶有宋代建造的雪浪庵而得名,海拔 146 m,西面是五浪山,南接太湖,东面为广阔平原,北临鼋头渚、五里湖。项目区原是一个石英砂岩采石厂,对雪浪山产生巨大的裸露山体缺口,它对城市生态环境、城市景观的影响极大。根据国家规定和土地利用总体规划,及 2001 年 11 月 23 日无锡市政府关于矿山管理和矿山整治的会议精神,为了充分发挥矿山宕口的社会效益、经济效益、生态效益,并切实做到对子孙后代负责。本着以人为本的观念,对雪浪山宕口 B 标段倡导恢复自然的生态模式,营造适应本地物种尽早生长的基材,实行植被混凝土护坡绿化,减少水土流失。无锡市为

* 收稿日期:2006-04-02

作者简介:谢 涛(1960 -),男,硕士,副教授,主要从事混凝土结构及工程研究;通信作者:徐小军(1984 -),男,现于广东水电科学工作。

了配合优美的太湖风景区和著名旅游景点梅园,对其进行旅游开发,于 2004 年 11 月 1 日至 2005 年 6 月 30 日对此标段进行边坡绿化,复绿总面积为 28 000 m²。

项目区是旅游景点的重要位置,山顶上有宏伟的观景楼,有着一供游客观光的线路,大约有 3~4 个旅游景点。山下有正在修建的寺庙,庙址是采矿后开挖出来的。原矿区开挖边坡高约在 45~80 m,中部坡面的坡角在 55~60°,局部坡角达 70°,多处呈直立坡面,两侧坡面的坡角在 60~35°。

该工程地处低山丘陵区,其地质条件较复杂,调查岩石主要有石英砂岩、页岩和泥岩三大类,且有三处出现正断层,岩石沿多个相互平行的断层面向同一个方向依次下降成阶梯式断层,构造简图 1。第 ① 断层间边坡上部石英砂岩为硬岩层,下部泥岩为软弱的塑性岩层,在上覆岩体重量、降雨长期的共同作用下,再者此处的地下水水位非常的高,使得下部泥岩层已经连通产生了滑动面,使得软垫层产生向临空面方向的缓慢塑性流动变形,引起了上覆硬层形成拉裂解体的破坏现象,拉裂宽度约为 4~6 m。

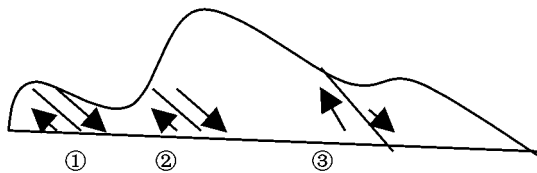


图 1 断层结构简图

2.3 生态护坡指导思想及工程措施防护要求

以生态恢复学为基本理论,以稳妥、科学、经济、自然的理念,运用工程措施,恢复自然健康的植物生长环境,达到水土流失标准,满足防灾减灾要求。在保证护坡安全的同时,在 1~3 年时间内,通过人工干预和自然的作用,实现生态恢复目标。

雪浪山 B 标段是深挖高边坡,地应力释放大,即荷量级高,卸荷范围宽,伴随卸荷,边坡产生卸荷裂隙和卸荷变形。岩石边坡开挖过程,改变或破坏了原有大自然的水、地气循环系统,这种改变或破坏循环系统,将随着裸露岩石的风吹日晒时间的增加而加剧。故此,对岩石边坡防护绿化,工程措施发挥重要作用,要求保证边坡稳定的前提下,绿化效果才能更完美。

现针对项目区第 ① 断层间坡面发生了塑流拉裂型断裂。若遇到强大暴雨,很有可能产生滑坡。此处就是滑坡潜发地段,根据挖损破坏情况及地下水、地表水、岩层构造、塑性流动层状况,现采取排除地下水措施:在滑坡外沿开挖水沟,排除来自滑坡外围的水体;同时在坡脚修抗滑挡土墙,墙后设排水渗沟,墙下设排小孔,排除滑坡体内的地下水,以控制在坡体下滑的动力。

东南方向无滑坡的陡峭的岩质边坡,采取削坡,以达到除掉非稳定的部分岩土体,以减缓坡度,削减助滑力,从而保持坡体稳定。西北方向竖直边坡,因离管道太近,不能对其削坡绿化,采取了距坡脚 1 m 处修筑挡土墙 0.6 m,然后再向内添满客土,栽种攀缘植物(如爬山虎、葛藤等),为整个工程达到立体化绿化,为今后构成生态系统打下良好的基础。

2.4 植被混凝土绿化技术应用方法

2.4.1 选用材料和施工机械

选用材料主要如下:

防护网。选用 14 # 镀锌铁丝网,网孔 4 cm × 4 cm,规格为 2 m × 10 m,价格为 6 元/m²。

锚杆。坡顶锚固用 80 cm 长 20 的螺纹钢;坡面锚固用 60 cm 长 16 的螺纹钢。

绿化添加剂。由宜昌绿野环保有限责任公司生产的,规格为 25 kg/袋。

种植土。工地原有的地表种植土或从外地购买的部分客土,风干后经粉碎机粉碎成 8 mm 的种植土,种植土价格为 4 元/m³。

水泥。选用 425 # 的水泥,规格为 25 kg/袋,价格为 17.5 元/袋。

腐殖质。选用稻壳和牛粪,稻壳价格为 2 元/袋,牛粪价格为 5 元/袋。

施工机械设备主要有:12 m³/min 的空压机、5 m³/h 砼喷射机、0.35 m³ 搅拌机、5 t 自卸汽车、斗车、卷扬机、电焊机、高压泵和手风车。

2.4.2 植被物种的选择

本地物种的选择 采集当地能够播撒的草种和灌木种子,作为混合植绿种子的一部分。在植树季节采挖当地根系较发达的矮生灌木,在对主、茎根创面进行处理后种植混凝土中,适种植爬藤植物(如葛藤、金银花等)。种植当地速生、耐贫瘠、耐旱、绿期相对较长的乔木作立体绿化的高级层次。

先锋物种的选择 根据江苏省滨湖地区的气候和土壤,选择了极强的保土护坡性能的物种,采用草灌混配种子组合,由 7 % 的狗牙根、16 % 的高羊茅、14 % 的根茎羊茅、7 % 的草地早熟禾、35 % 的紫穗槐、14 % 的白三叶和 7 % 的紫花苜蓿组成。

表 1 无锡市雪浪山 B 标段植绿种子选择及性能

植物种类	高羊茅	根茎羊茅	草地早熟禾	紫穗槐	白三叶	紫花苜蓿	狗牙根
千粒重/g	2.5	2.5	0.02	10.5	0.6	2.3	0.25
发芽率/%	91	94	92	90	97	96	95
价格/(元·kg ⁻¹)	17	17	28	3	40	30	24
播种量/(g·m ⁻²)	4.5	4	2	10	4	2	2
百分比/%	16	14	7	35	14	7	7

2.4.3 植被混凝土基面层配比

植被混凝土基面层的喷播是整个工艺中的关键,直接影响着绿化效果,所以要根据不同地区的土壤、地质、气候和经济等因素来合理确定植被混凝土基面层的配比。

表 2 无锡市雪浪山 B 标段的植被混凝土基面层组成及配比

	轻质土	腐殖质	水泥	砼绿化添加剂
1 m ³ 基层	0.90 m ³	0.18 m ³	85 kg	40 kg
1 m ³ 面层	0.90 m ³	0.18 m ³	28 kg	30 kg

2.4.4 植被混凝土绿化技术施工过程

准备工作。开辟坡顶施工通道,清除妨碍施工的坡顶杂草杂物,同时也将坡顶部分土层修缓到大约 50°左右。

坡面清理。在工程措施确保坡面稳定的基础上,对坡面上的危石清掉和坡度较高的坡面适当修缓。

挂网锚固。网与网搭接 10 cm,网挂至坡顶上 0.5 m,坡顶用 20 螺旋钢,长 80 cm 锚固,每米 1 根。坡面锚固用 16 螺旋钢,长 60 cm,间距 1 m × 1 m 锚固。锚杆外露 10 cm,铁丝网要固定在锚杆外露 8 cm 处,这样便于控制喷射厚度。如果斜坡较长,则必须要分成几段,即网不能一直从坡顶搭接到坡脚,减小铁丝网的拉力,但网间隔处必须修筑截流沟,否则会对植被混凝土造成较大的冲刷力,同时还要将铁丝网用 20 螺纹钢加固。

植被砼喷植 首先把坡面用水浇湿,有利于混凝土与坡面的胶结,然后通过混凝土搅拌机把种植土、水泥、牛粪、稻壳、绿化添加剂均匀地拌和,利用 12 m³/min 风量的空压机把拌和物从混凝土喷射机输送到喷口与水汇合成混凝土混合物喷射到坡面,形成混凝土的基层,基层平均厚度为 8 cm。同样的方法与步骤,把植绿种子加入拌和物,喷射形成混凝土的面层,面层平均厚度为 2 cm。在喷射的同时,应立

即验收,质量等级标准见表3。

表3 植被砵喷植检验指标质量等级

检验指标	不合格	合格	优良
喷层均匀程度	很不均匀。有明显斑块存在,低层基本没有有机质	基本均匀。无明显斑块,有机质沿深度分布变化不大	均匀,无斑块存在,层理不明显
喷层空隙率	< 30 %	30 % ~ 45 %	> 45 %
pH 值	> 9	8 ~ 9	< 8
喷层抗压强度 (MPa 无侧限抗压强度)	< 0. 25	0. 25 ~ 0. 35	> 0. 35
有效持水量	< 20 %	20 % ~ 30 %	> 30 %
喷层厚度/设计厚度	< 90 %	90 % ~ 95 %	> 95 %

注:上述 6 项指标若有一项指标不达标就返工。用这 6 项指标对某一工程进行评定时,可以用加权平均法。

无纺布覆盖保墒。

养护。以喷灌为主,用 PP-R 塑料管组成喷灌网,安装摇臂喷头喷灌,喷头射程 4 m,喷头分布为 6 m×6 m,以保证幼苗所需的水分,完工后继续养护二年,恢复自然生态。

“完工验收”验收。草长出 8 cm 时的这次验收时间一般夏季在喷射完工后一个半月左右,冬季在喷射完工两个月左右。具体各项指标质量评定等级见表 4。对于不达标的,应补种,直至达标为止。

表 4 草长出 8 cm 时的检验指标质量等级 %

检验指标	不合格	合格	优良
坡面侵蚀状况	垮落,有较多冲沟	无垮落,少量冲沟	无垮落和冲沟
喷层空隙状况	有较多裂隙	很少裂隙	无裂隙
病害发生情况	> 10	5 ~ 10	< 5
植被覆盖率	< 85	85 ~ 95	> 95
颜色(绿色)	< 80	80 ~ 90	> 90

“竣工验收”。喷射完工后一年检验植被混凝土的抗旱能力和检验植被生长状况、病害发生情况、喷层的侵蚀情况、裂隙状况等。具体各项指标质量评定等级见表 5。

表 5 竣工验收检验指标质量等级

检验指标	不合格	合格	优良
坡面侵蚀状况	垮落、有较多冲沟	无垮落、少量冲沟	无垮落和冲沟
植被生长情况	稀疏、瘦弱、 有较大面积病害	较茂密、交住省、 少量病害	茂盛、旺盛 、无病害
草根发育情况	不发达、 只分布于表层	较发达、整个喷层 被草根贯穿	发达、大量长入 坡面围岩裂隙
物种情况	播种的物种 未全部长出	所播种草种都有、 并有当地物种入侵	所播种草种都有、 并有当地物种入侵

后期管养。工程施工后一年时间内为第一段管养期；第二管养期为第一管养期末后两年时间。

在第一管养期内,依据先锋草种的特性和施工成果状态,以及生态恢复的必须过程要求。做好如下工作: 覆盖保墒,特别是在前两个月里,每天观察草种的生长状况,发现水分不足及时补充水分,当草种发芽达到 85 % 时,揭去无纺布; 对施工缺陷进行及时修复; 防治病害和病菌对植物的侵害; 采集和选育当地适当在贫瘠山体坡面生长的植物,在适当季节进行; 乔木、灌木、藤蔓植物栽培; 编制工程竣工资料和管理手册。

在第二管养期内,总结先锋草种在第一个生长周期里所反映的特点和表现,加大大地植物在坡面生存和繁衍的技术

参考文献:

- [1] 万明,徐晓天,程洪,等.生物护坡与工程技术[M].香港:亚太国际出版有限公司,2004.
[2] 陆子锋.深圳市裸露山体缺口整治技术探讨[J].水土保持通报,2002,22(5):55-56.
[3] 许文年,等.石边坡护坡绿化技术应用研究[J].水利水电技术,2002,(7):35-40.

措施的落实,继续补充乔木、灌木、藤蔓植物的栽培量,编制坡面植物种类手册。

2.4.5 植被混凝土绿化技术施工质量控制关键

(1)现场勘测清除坡面岩石风化程度和渣土层厚度,合理设计锚杆的埋置深度,埋置深度以能抗拔为原则。

(2) 锚杆点的设置视坡面变化情况确定,若有岩石的部位,锚杆一定打入岩石,保证锚杆能确实起到固实铁丝网的作用,锚杆外露长度已不超过植被基材层厚为控制原则。

(3) 铁丝网在铺设时必须网网搭接, 搭接宽度在 10 cm 左右, 铁丝网固定在锚杆上的位置为锚杆出坡面 $2/3$ 处。

(4) 植被基材分两次喷射,控制好分层厚度和两次喷射的间隔时间,保证两层能紧密连接。喷射强度与喷射机械的型号即风压量密切相关,使用 12 m^3 风量的空压机作喷射机供压设备。

(5) 草种要经过浸种催芽处理。

2.5 植被混凝土绿化效果及评价

2.5.1 绿化效果

绿化效果 喷射施工完毕后,经保墒养护 7 d,草种陆续发芽,植被基材配方的合理应用使植物生根快、长势旺。并且以种植、扦插等方式植生低矮灌木和爬藤,使整个坡面的复绿效果得到更完美;坡脚护坎内种植的乔、灌、藤蔓植物,形成了立体绿化效果。

2.5.2 防护效果

喷射施工完毕后养护 48 h, 植被基材就会产生 0.3 ~ 0.45 MPa 的强度, 6 d 后就能抵抗 135 mm/24 h 的暴雨冲刷。由于对植被混凝土厚度和密度的控制, 其渗透性能比较弱。因而有利于岩石坡面和植物混凝土之间的胶结。混凝土绿化添加剂的使用, 一方面解决了水泥的大量使用, 水泥的强碱性和高水化热对草种发芽与生长的不利影响; 另一方面解决了植被基层在烈日暴晒下发生龟裂, 引发雨水集中渗透导致植被基层脱落垮塌的问题。通过在无锡市雪浪山 B 标段的实践, 经过风吹雨打、寒冬酷暑, 植被混凝土植物生态势正常, 没有发现裂缝和脱落现象。

2.5.3 该项技术应用评价

工程造价较高,施工难度较大。从表 6 中明显发现植被混凝土喷播技术工程造价较高,投资较高;且施工技术相对较难。

表6 各种绿化技术工程造价的比较

类型	普通喷播	挂网喷播	植被混凝土喷播
单位造价/(元·m ²)	5~10	30~40	40~60

浇水次数较多,养护成本较高。施工完毕后,需要安装养护系统和专门管理人员养护,一般每隔 2~3 d 就要浇水,虽然大大提高了成本,但达到了普通绿化达不到的施工绿化效果。

3 应用前景与展望

植被混凝土护坡绿化技术在无锡市雪浪山宕口 B 标段的成功实际应用,为无锡市城市发展带来的采石、公路等工程遗留下的岩质等边坡的植物生长提供了手段,使不美观的极端坡地得以绿化,不和谐的景观得以装点。对于我国水分较充足和有来源适宜当地植物生长客土的地区,通过该项技术的合理应用,能达到水土保持、生态恢复的效果。

对于防护网的稳固机制、投资成本较高等问题还需进一步研究探讨,使该技术日趋成熟。