

山区高陡边坡水土保持及复绿修复技术研究

刘建国

安徽省交通勘察设计院有限公司

摘要: 文章针对山区高陡裸露边坡复绿技术进行研究, 总结现有复绿技术优缺点及适用性, 从施工简便、造价经济、效果显著等多方面进行分析。结合三峡能源舒城风电场边坡复绿设计, 提出了山区高陡裸露边坡复绿新技术。

关键词: 水土保持; 边坡复绿; 生态袋平台; 挡土篱

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2022.04.081

一、前言

2013年9月, 两山论“绿水青山就是金山银山”的提出, 强调了生态保护的重要性。近年来, 水土保持工作紧紧围绕“水利工程补短板、水利行业强监管”的水利改革发展总基调, 按照“把工作重心切实转变到监管上来, 在监管上强手段, 在治理上补短板”的水土保持工作总思路。

在山区道路、风电、隧道等建设的过程中, 都会面临许多开挖的坡面, 坡面上岩土裸露, 在自然力的作用下极易产生崩塌、剥落、坠石等地质灾害, 雨水土流失严重。随着人们生态意识的增强, 开始在破损的坡面上恢复土壤和植被, 于是出现了大量的坡面生态修复工程技术, 和所有技术的发展模式一样, 坡面生态修复技术也经历了不断改进的探索过程。其中决定坡面生态修复成败的关键之一就是, 人工修复的坡面植物群落是否稳定。鉴于水土保持监管力度逐年加大, 山体边坡复绿市场需求逐步提升, 开展山区高陡边坡水土保持及复绿修复技术研究工作是非常有意义的。

二、项目概况

三峡新能源舒城风电场建设过程中, 因顺坡溜渣, 共计造成约21处下边坡呈裸露状态, 根据水土保持监督检查要求, 需采取复绿措施。边坡坡度均较为陡峭, 边坡形状大多呈上宽下窄的“倒三角”形, 高差29m至300m不等, 根据裸露边坡坡度、海拔、裸露程度、坡面状态等参数, 将上述裸露边坡各区域概括为以下3大类型:

①土质边坡

该类型边坡坡面基本无碎石、突石, 或存在少量碎石, 坡面现状主要为土质, 主要位于各边坡的中上部或部分边坡的全边坡。

②碎石边坡

该类型边坡坡面为修路爆破的碎石层所覆盖, 厚度大于10cm, 一般位于边坡下部, 部分位于边坡中部或全边坡。

③突石边坡

该类型边坡主要特征为边坡存在较为明显的突石, 坡面极不平整, 突出的石块为天然形态, 一般位于边坡上部, 部分位于边坡中部。

三、边坡复绿主要技术方法对比

目前, 国内外边坡复绿技术种类繁多, 为了更好的开展边坡复绿技术及其复绿效果的调查和评价方法研究工作。在充分调查梳理国内外边坡复绿技术的基础上, 结合舒城风电场裸露边坡特点, 现根据工程形式, 总体上将边坡复绿技术分为6种: 挂网喷播、生态袋、孔(穴)式、台阶法、等高线挡土篱法及鱼鳞坑法复绿技术。其中一些复绿技术又可根据工艺类型等分为若干种具体的复绿技术。现将这6种边坡复绿技术分别介绍如下:

(一) 挂网喷播复绿技术

挂网喷播是利用特制喷混机械将土壤、有机质、保水剂、粘合剂和种子等混合后喷射到岩面上, 在岩壁表面形成喷播层, 营造一个既能让植物生长发育而种植基质又不被冲刷的稳定结构, 保证草种迅速萌芽和生长。一般喷播厚度在10-20cm。这种技术目前已比较成熟。可适用于坡度较陡的土质与岩质边坡, 成本适中, 出苗快、整齐, 均匀, 视觉效果好。需要说明的是, 挂网喷播技术多以草本和灌木为主, 不适合乔木的生长, 养护费较高。

(二) 生态袋复绿技术

生态袋技术是指将包含种植土和植物种子的生态袋分层错缝码砌于坡面, 通过其内植物种子生长覆盖从而达到覆绿效果的一种生态护坡技术, 可结合加筋技术提高其护坡功能。其核心技术是不可替代的高分子生态袋: 一种进口的用由聚丙烯及其他高分子材料复合制成的材料编织而成, 耐腐蚀性强, 耐微生物分解, 抗紫外线, 易于植物生长, 使用寿命长达70年的高科技材料制成的护坡材料。

生态袋只透水不透土, 对植物友善, 植物能通过袋体自由生长。根系进入工程基础土壤中, 形成袋体与主体坡面间的再次稳固作用, 时间越长, 越加牢固, 更进一步实现了建造稳定性永久边坡的目的, 降低了边坡防护的维护费用, 实现了生态防护与恢复。理论上, 生态袋由于其自身内锁结构以及加筋网片的张拉, 可适用于任意坡度的边坡工程。而实际工程中, 它通常用于坡比1:1~1:0.75的边坡, 只在较低的边坡的护坡工程中有近垂直的应用。

(三) 孔(穴)式复绿技术

该方法是利用边坡缝隙或利用钻机打孔人为创造植物生长空间, 并填入基质或覆土种植植物的方法。该方法可用于坡度大于70°的高陡岩质边坡, 植物选型丰富, 成活率高且持久性好, 成本低。不足之处是复绿见效稍慢。一般可分为“容器苗法”与“见缝插针法”。

1. “容器苗法”

该方法是用电钻在石壁的裂隙处打一定直径和深度

的洞，将直径相同的装满营养基质的塑料多孔杯插入圆洞中，然后在洞内播撒种子或栽种小苗。该方法适用于干旱地区，有利于植物根系扎入石缝中。

2. “见缝插针法”

见缝插针法是利用石壁缝隙、不规则的小平台及凹凸等微地形，必要时进行适当的人工修整，从而见缝插针地回填土种植适宜植物。

(四) 台阶(坡度)复绿技术

该方法通过调整、控制边坡坡率和采取爆破等措施改造边坡形态并覆土种植的一种复绿方法。该方法植被选型丰富且成活率高，复绿效果好。不适用于高陡岩质边坡，费用较高，有一定局限性。按施工工艺又分为续坡法和梯级台阶法。

1. 续坡法

对于破损山体有足够腹地的破损山体，通过回填渣土和种植土方式造出能保证安全的坡的一种复绿方法。该方法施工效率高、植物选型丰富且成活率高。施工成本较高，且有一定的局限性。

2. 削坡平台法

削坡平台法是利用边坡上原有平台或采用逐级爆破

等的方法将岩壁掌子面改造成阶梯形，在台阶外侧砌墙，并填加客土、肥料，植树种草。该方法施工难度大，费用高，有一定局限性。

(五) 等高线挡土篱法

利用容易插钎成活的植物较粗的树枝、竹片桩等(如柳树、桑树等)沿等高线垂直坡面埋设或种植在作业面上，经覆土形成种植平台，经养护后能快速的达到护坡效果，形成茂密的植物挡土墙。

(六) 鱼鳞坑法

为减少水土流失，在山坡上挖掘有一定蓄水容量、交错排列、类似鱼鳞状的半圆型或月牙型土坑，坑内蓄水，植树造林。后在洞穴中放入栽种了植物的填土竹筐。该技术的优点是苗木成品率较高，植物选型丰富。缺点是施工部位局限性较大、植被覆盖率较低、对于高陡边坡施工难度大，工程造价较高。

四、复绿技术各复绿技术优缺点及适用性分析

针对前述主要边坡复绿方案，结合本工程裸露边坡实际情况，对工程复绿方案进行方案比选，方案比选从适用条件、优缺点、绿化效果、植被覆盖度及多样性四个方面来分析，如下表所示：

序号	复绿技术	适用条件	优缺点	绿化效果	植物覆盖度及多样性	
1	喷播复绿技术	土质和岩质边坡；适用于坡度较陡的岩质边坡；边坡稳定性需好	优点：施工机械化程度高、效率高、护坡整体稳定性好；缺点：对坡面平整度要求高，一般喷播技术的植物选型多以草本为主后期养护需求高。	苗快、整齐、均匀，视觉效果好，绿化效果快。一般喷播缺少大规格的乔灌木，影响坡面植物群落的自然整体效果	一般喷播技术短期植被覆盖度高，长时间植被覆盖度降低；植物多样性一般	
2	生态袋复绿技术	土质和岩质边坡；缓坡陡坡均可；可用于坡度>70°的陡坡；边坡较高时，需分段增设锚杆支撑。	优点：施工效率高、复绿见效快、受施工季节限制少，性能稳定；缺点：成本较高，后期养护需求较高	植草效果好，草种出苗率高，绿化效果快、与周边环境的协调性较好	植物覆盖度较高；植物多样性适中	
3	孔(穴)式复绿	容器苗法	多用于高陡岩质边坡；坡度可大于70°；边坡稳定性需好。	优点：施工机械化程度高，效率高，植被选型丰富，养护管理要求不高，成本低。缺点：苗木前期培养要求高，绿化见效慢。	植被搭配多样，绿化效果见效慢	短期内植被覆盖度不高；
		见缝插针法	多用于高陡岩质边坡；坡度可大于70°；多作为辅助复绿技术。	优点：操作简单，效率高，成本低。缺点：植物选择单一，绿化见效慢。	植物成活率受边坡特征影响。复绿效果见效慢	短期内植被覆盖度不高；植物多样性单一
4	台阶(坡度)复绿技术	续坡法	土质和岩质边坡均可；坡度不宜过高	优点是机械化程度高，效率高，植物选型丰富，成活率高。缺点是工程量较大，受场地大小限制，存在施工风险	乔、灌、草及藤本植物搭配多样，景观层次性好，效果美观且长久	植被覆盖度不高；植物多样性好
		削坡平台法	土质和岩质边坡均可；坡度小于45°；边坡稳定性要好。	优点是机械化程度高，效率高，植物选型丰富，成活率高。缺点是工程量较大，受场地大小限制，存在施工风险	乔、灌、草及藤本植物搭配多样，景观层次性好，效果美观且长久	植被覆盖度不高；植物多样性好
5	等高线挡土篱法	多用于土质高边坡	优点：操作简单，效率高，成本低。缺点：对坡面平整度要求高	乔、灌、草及藤本植物搭配多样，景观层次性好，效果美观且长久	植被覆盖度高；植物多样性较好	
6	鱼鳞坑法	土质和岩质边坡均可；坡度<45°	优点：苗木成活率高，植物选型丰富，可根据坡面特征合理布置。缺点：施工部位局限性较大，对于岩质高陡边坡施工难度大	植被群落丰富，绿化效果长久稳定，见效较慢	植被覆盖度不高；植物多样性好	

通过以上分析：可适用于本工程边坡复绿技术为：挂网客土喷播、孔穴式复绿技术、等高线挡土篱复绿技术。

五、复绿措施设计

1. 针对土质边坡区域，采用挡土篱+混播法：

具体方案为：在土质坡面上，沿等高线每隔2m垂直打一排竹片桩，桩距0.8m，竹片桩入土深度20cm、出土深度30cm，各竹片桩之间用无纺布连接。在竹片桩与坡面交角处经覆土后形成种植平台。平台上种植园竹、紫穗槐、连翘、蔷薇等灌木，同时在各横向挡土篱之间土质边坡区域混播灌草混合草籽（胡枝子、多花木兰、狗牙根、早熟禾混播比例：3：3：2：2）。结构能有效拦蓄沙土、渗透水流且保护植物篱形成的土坎，获得较大的坡面利用空间。

2. 碎石边坡复绿方法采用生态袋平台+营养盆穴栽法：

生态袋护坡系统通过将装满植物生长基质的生态袋沿边坡表面层层堆叠的方式在边坡表面形成一层适宜植物生长的环境，同时通过专利的连接配件将袋与袋之间，层与层之间，生态袋与边坡表面之间完全紧密的结合起来，达到牢固的护坡作用，同时随之植物在其上的生长，进一步的将边坡固定然后在堆叠好的袋面采用绿化手段播种或栽植植物，达到恢复植被的目的。由于采用生态袋护坡系统所创造的边坡表面生长环境较好（可达到30-40cm厚的土层），草本植物、小型灌木，甚至一些小乔木都可以非常良好的生长，能够形成茂盛的植被效果。近年被广泛应用于各种恶劣情况下的边坡防护施工以及其他一些防护和生态修复领域清理、平整边坡。

碎石边坡通常位于边坡的中下部，对碎石边坡覆盖厚度小于10cm区域应尽可能将碎石向下方清理，使碎石覆盖的土质边坡出露后，采取与土质边坡复绿的相同措施。对于碎石覆盖层较厚、难以清理的边坡依据边坡坡度大小采取以下复绿措施：

①边坡坡度小于30度的（如桐城7#边坡下部碎石，现状下部为Z字型多级碎石平台），可直接在碎石边坡进行覆土，覆土厚度应不小于40cm，以满足灌木和草本的生产要求。

②边坡坡度大于30度的，采用生态袋平台+营养盆穴栽法，生态袋平台沿坡面方面每隔2m布置一道，平台宽度约50cm，生态袋内部填筑土方需含混合草籽（胡枝子、多花木兰、狗牙根、早熟禾混播比例：3：3：2：2）；同时在各生态袋平台之间碎石边坡区域穴栽营养盆，营养盆行距0.5m、列距0.5m，营养盆可在当地苗圃购买，尺寸约为直径25cm，深25cm，营养盆内部栽植灌木或藤木，苗种可选择连翘、紫穗槐、蔷薇、五叶地锦等。

3. 突石边坡区域复绿设计

突石边坡通常位于边坡的上部，坡面极不平整，考虑施工及成本要求，本工程突石边坡主要采用孔穴式复绿技术中的“见缝插针法”：该技术多用于岩质边坡。可用于坡度较大的高陡边坡。适用于裂隙较发育的边坡。技术特点是操作简单、效率高，植物选择单一，对岩壁要求高。成本低。绿化效果方面，植物成活率受边坡特征影响。复绿效果见效慢。

突石边坡“见缝插针”法复绿主要流程为：根据突

石边坡现状，对突石边坡区域存在裂缝、局部平台区域“见缝插针式”进行客土回填，形成植被生长环境，植被选择以草本为主，如适宜本地生长的巴茂草、早熟禾等。局部大裂缝、平台处可栽植小灌木或藤木。

4. 复绿植被选择

植被选择原则主要考虑耐寒、耐贫瘠、适地性三个方面，灌木主要选择有连翘、紫穗槐、园竹、蔷薇等，草本选择为巴茂草、早熟禾、狗牙根、博落回等。

六、主要施工方法及工艺

1. 生态袋平台施工

将生态袋结构扣水平放置两个袋子之间在靠近袋子边缘的地方，以便每一个生态袋结构扣跨度两个袋子，摇晃扎实袋子以便每一个标准扣刺穿袋子的中腹正下面。每层袋子铺设完成后在上面放置木板并由人在上面行走踩踏，这一操作是用来确保生态袋结构扣和生态袋之间良好的联结。铺设袋子时，注意把袋子的缝线结合一侧向内摆放，每垒砌三层生态袋便铺设一层加筋格栅，加筋格栅一端固定在生态袋结构扣。

2. 挡土篱施工

利用容易扦插成活的植物较粗的树枝、桩（如柳树、桑树等）沿等高线埋设或种植在作业面上，经养护后能快速的达到护坡效果，形成茂密的植物挡土墙。

一般于坡度45°以下之填方或崩积土坡面及一般土壤之挖方坡面上，沿等高线每隔1m打1排桩，桩距30~50cm，以竹片或其他材料编栅，藉以植生，保护坡面表土，防止冲刷。

木桩选用易萌芽桩末端直径在5cm以上长度100~120cm，打入土中2/3以上，出土部份以竹片或其他材料编成挡土栅。

每两支桩中至少有1支为萌芽桩，另1支可为杂木桩，编栅后排桩间略整平成平台状，填客土平均厚约10cm，施以1kg/m²之堆肥，再以喷植法或植生带法予以植生覆盖，稳定坡面。于挖土坡面生木桩不易打入者，应改为直径16mm钢筋并灌入1：3水泥砂浆，以防止脱落。

七、结语

不同于一般边坡复绿项目，三峡能源舒城风电场裸露边坡呈现高海拔、大坡比、坡面形态复杂、土壤贫瘠等特点，根据生态恢复及水土保持监督检查要求，本文在边坡复绿技术适用性分析及现状裸露边坡分类治理的前提下，对土质裸露边坡、石质裸露边坡、突石边坡分别设计了针对性复绿措施，对类似山区边坡复绿工程具有一定借鉴意义。

参考文献

[1] 张丹娜. 杭徽高速石质边坡复绿植物配置设计方案研究[J]. 安徽农业科学. 2007, 8(20): 7145-7146.
 [2] 王海平. 边坡生态复绿治理工程技术探讨[J]. 世界有色金属. 2020, 4(5): 294-295
 [3] 陈冀川. 论植生袋在岩质边坡上的景观应用[J]. 中国水土保持. 2014, 5(5): 32-35.
 [4] 谢涛. 植被混凝土技术在无锡市雪浪山B标复绿工程中的应用[J]. 水土保持研究. 2007, 4(30): 59-61.
 [5] 赵廷华. 新型生态植被毯边坡防护技术水土保持效应研究[J]. 人民长江. 2017, 7(14): 20-22.
 作者简介：刘建国（1988-），男，工程师，硕士研究生，从事水利工程设计，水土保持工作。