

水利工程高陡边坡绿色防护施工技术研究

朱广超

新疆兵团水利水电工程集团有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

【摘要】：本文分析了水利工程高陡边坡绿色防护施工技术，弥补传统边坡防护技术在生态防护方面的不足，向生态化方向发展水利工程。本文系统化研究了各种绿色防护施工技术要点，对实际施工发挥参考，将技术优势发挥出来，保证边坡防护的安全性和生态化，为水利工程高陡边坡防护施工奠定技术基础。

【关键词】：水利工程；高陡边坡；绿色防护施工技术

DOI:10.12417/2811-0528.26.13.089

在基础设施建设中水利工程发挥重要作用，有利于推动国民经济和社会发展。水利工程综合发挥防洪灌溉和发电等功能，为区域经济奠定基础。而在水利工程中高陡边坡属于重要的一部分，其稳定性关系到整体工程的安全性。当前人们高度关注生态环境，而传统的边坡防护技术虽然可以保障施工安全性，但是不符合生态环保要求。尤其在大型工程施工中，在开挖和防护高陡边坡的过程中存在高能耗和环境污染等问题，甚至会引发生态退化问题。因此研究水利工程高陡边坡绿色防护施工技术具有重要的意义，在保障边坡结构稳定性的同时，有利于协调发展工程和周围环境。

1 水利工程高陡边坡绿色防护施工技术类型

1.1 植被混凝土技术

(1) 技术原理：该技术指的是根据特定材料配比构建植物生长基层，合理结合边坡防护和生态修复两方面。根据一定比例混合水泥和土壤以及有机质、肥料等，突出基材结构的稳定性和透水性，优化植物生长环境。该技术结合高陡边坡生态修复需求完成基材配比工作，不仅提高了结构强度，同时满足了植物生长的营养和水分需求^[1]。此外合理添加微生物菌剂，有利于快速分解基材有机质，同时可以释放养分，提高植物生长速度。利用该技术有利于改善边坡性质，优化植物生存条件，顺利实现生态保护和工程防护目标。

(2) 施工流程：利用植被混凝土技术的过程中，首先要清理和平整边坡表面，将表面的松散块石和杂物及时清理干净，紧密黏结基材和坡面。其次结合设计要求精准配比材料，充分均匀搅拌水泥和土壤以及有机质等，提高植被混凝土基材的均匀性。以此为基础对水灰比合理控制，提高基材的流动性和强度。随后通过喷射或者浇筑方式在坡面铺设基材，控制厚度8~12cm范围内。最后铺设基材之后要及时开展养护管理工作，结合实际情况选择覆盖无纺布和定期喷水保湿等措施，优化植物生长环境。通过提高整体施工过程的规范性，有利于充分发挥植被混凝土的技术优势。

1.2 喷混植生技术

(1) 技术原理：该技术通过混合植物种子和基质，再向坡面喷射，有利于提高生态防护水平。在实际施工中，利用高压喷射设备在边坡表面均匀地覆盖植物种子和土壤改良剂以及黏结剂等混合物，形成稳定并具备生态功能的植被层^[2]。该技术可以高度融合植物种子和基质，满足植物生长的养分和水分的需求，再利用黏结剂作用，紧密黏结基材和坡面，控制水土流失问题。利用喷混植生技术，有利于快速覆盖植被，提高边坡的抗侵蚀能力，在岩石边坡和土质较差的高陡边坡适合利用这项技术。

(2) 施工流程：在喷混植生施工过程中，首先要清理和加固边坡表面，及时将松散的物质清除，提高坡面的稳定性，紧密附着喷射层。其次结合设计要求混合植物种子和土壤改良剂以及黏结剂等物质，再通过机械搅拌形成均匀的喷射基材。在这一阶段要注意保证植物种子活性，并提高基质含水率，顺利喷发植物种子。再次，利用高压喷射设备在边坡表面均匀地覆盖混合物，控制喷射厚度在5~10cm范围内。最后完成喷射工作之后立即开展养护工作，定期施肥和喷水，满足植物生长需求。在实际施工中，施工单位要严格控制不同施工环节的技术参数，充分发挥喷混植生技术的优势。

1.3 其他绿色防护技术

除了上述技术措施，在水利工程的高陡边坡绿色防护施工中还可以利用生态袋技术和三维植被网技术。其中生态袋技术指的是在生态袋中填充植物种子和土壤，随后在边坡表面堆叠生态袋，充分发挥边坡防护和绿化作用。该技术是利用生态袋的柔性作用，提高边坡结构的稳定性，植物在袋内不断生长，有利于提高生态修复水平。在坡度较缓和地质条件良好的边坡适合利用这一技术，整体施工过程相对简单，同时有利于节省投资。

三维植被网技术指的是在边坡上铺设三维网状结构，并在

网内填充土壤,有利于保证植被层的透气性和保水性。该技术充分利用三维网加筋作用,提高边坡的稳固性,同时促进植物根系生长,提高边坡生态防护水平^[3]。因为这两项技术的特点是不同的,因此施工单位要结合工程条件合理选择合适的技术,充分发挥防护和生态修复作用。

2 水利工程高陡边坡绿色防护施工技术应用

2.1 工程概况

某水利工程位于我国西南地区,该工程的地质条件十分复杂,属于深切河谷地貌,当地为亚热带季风气候区,年降水量丰富且集中,平均气温处于15℃~20℃范围内,有利于优化植物生长条件。边坡高度为60m,坡角超过了45°,整体岩土结构特征为上硬下软,上部主要包括砂岩和石灰岩,下部为风化泥岩和碎屑沉积物。这种地质构造因为水侵蚀和重力影响,很容易出现失稳问题,严重威胁生态环境的安全性。此外因为施工开挖,将会裸露大量的高陡坡面,提高水土流失问题的发生率。因此在该工程施工中,要采取高陡边坡绿色防护施工技术。

2.2 工程设计

(1) 坡面防护设计:因为本工程的坡面结构非常复杂,因此要采取合适的处理技术,提高坡体和坡面的稳定性。处理堆积体过程中,要及时清理浮石头,并提高坡面的稳定性,在缝隙中填充有机物,在处理岩石体阶段,施工单位要合理修整坡度和反坡,在高处和坡面汇水区设置截排水设施,完成处理工作之后在坡面加装热镀锌铁丝网,同时利用锚杆对锚固作用,控制锚杆间距在1~2m范围内,保证其深度在1~1.5m以内^[4]。用直径为12mm的螺纹钢作为锚杆,在局部利用自钻式锚杆。施工单位要利用水泥砂浆捣实锚杆,在加挂网体阶段做好张紧工作,紧密贴合网体和坡面,控制网间搭接宽度超过5cm,利用铁丝绑扎固定网体,规避滑脱问题。

(2) 保水涵水设计:结合植物生长需求,控制土壤含水率在5%~6%范围内,在本工程的土体利用淀粉接枝丙烯酸盐保水剂,在表层的土体利用聚丙烯酰胺保水剂,即使在不降雨的情况下也可以提高土壤的含水量。

(3) 土壤配方设计:工程土壤成分比较复杂,满足了植物养分需求,具体的养分指标如下表1,孔隙度超过了40%,很难出现板结和分层等问题。此外土壤的附着力和黏结力比较强,有利于抵御自然降雨和人工灌溉等方面的冲刷力,优化整体土壤的渗透性和保水性等性能。

表1 植被恢复工程土壤配方养分指标

序号	项目	单位	技术指标
1	全氮(N)	g/kg	≥1
2	全磷(P2O5)	g/kg	≥0.6
3	全钾(K2O)	g/kg	≥10
4	有机质	g/kg	≥200
5	pH	—	6.5~7.0
6	阳离子交换量(CEC)	mg/100g	≥15

(4) 植物群落设计:本工程的植物群落主体为灌木,通过优化配置草本植物和灌木,有利于提高边坡结构植被的多样性。结合本工程的施工条件,合理选择植物类型和播种量,具体搭配如下表2所示。

表2 植被恢复工程植被群落设计

序号	植物分类	植物品种	单位用量 / (g/m ²)
1	高羊茅类先锋草种	禾本科火凤凰等	15
2	本地先锋草种	狗牙根	3
3	侵占性草种	百喜草	1
4	豆科护坡草种	紫花苜蓿、沙打旺	10
5	豆科灌木	紫穗槐(脱壳)、马棘	20
6	抗逆性原生灌木	黄荆、马桑、水白杨、马蹄金	11
7	藤本类植物	局部使用	—

2.3 工程施工

2.3.1 施工准备

为了提高工程植被恢复水平,施工单位要结合工程施工规模和施工工艺等要求,合理选择施工材料和设备。在本工程中利用的设备包括空压机和喷播机以及发电机等。施工材料包括镀锌防护网和锚杆以及植物配方种子等,在利用部分材料之前要落实效果测试工作,例如要测试土壤养分含量和保水剂吸水率以及种子发芽率等。

在施工之前施工单位要全面勘查施工周围的环境,在路基挡土墙上侧安装防护网,同时分析施工临时占地面积,合理划分原料堆放区和机械安装区等,此外要做好各区的水土流失防治工作。

2.3.2 施工方法和流程

(1) 坡面清理。提高坡面的平整度,通过人工清理坡面的浮石和浮土以及树根等,同时要处理局部不平区和陡坡以及

光滑面等,控制坡面平整度在±10cm范围内,有利于紧密结合基质和岩石表面,同时结合实际情况在合适的部位建设截排水沟等设施。

(2) 打锚施工。为了提高镀锌网的稳固性,优化植物生长环境,施工单位要利用空压机带动风钻在岩石裸露区打孔,控制打孔密度间距在100~200cm范围内,控制孔深在100~150cm范围内,随后在孔内插入钢筋锚杆,并利用水泥砂浆提高锚杆的稳固性^[5]。结合边坡实际情况合理调整锚杆密度,有利于提高挂网的牢固性。

(3) 挂网固定。完成打锚处理之后,施工单位要将镀锌铁丝网铺设在坡面上,本工程选用菱形镀锌金属网。在挂网施工中由上到下的顺序放卷,上端延伸1.5m左右,利用铁丝绑扎固定相邻两卷的镀锌铁丝网,控制交接重叠部位为5~8cm范围内。紧密捆扎铁丝网和锚杆,使其紧密地贴合坡面。

(4) 客土喷播。合理筛选土壤,合理控制土壤粒径,满足喷播机械要求,随后合理混合绿化添加剂和草炭土以及有机肥等,经过机械均匀搅拌之后,利用空气压缩机向坡面喷入种植基质,控制喷射厚度在8~10cm范围内。注意严格控制绿化添加剂的比例,保证用量精准性。在搅拌机中投入绿化基质之后,连续搅拌1min之后开展喷播工作。在喷播施工中,维持设备和坡面的垂直度,规避仰喷和斜喷情况。结合设计要求控制喷射厚度,同时结合实际情况落实补喷工作。

(5) 覆盖养生。完成喷射工作之后,施工单位要覆盖草帘和无纺布,并利用木桩等固定覆盖物,在两端利用土压方式,有利于控制水分蒸发,促进植物生长,提高雨水冲刷抵御能力。完成无纺布覆盖之后,施工单位要安排专业人员巡查现场,及时整理移位的无纺布,完整地覆盖喷播区域。在边坡顶部和底部的边角部位很容易出现喷射厚度不足情况,在巡查过程中要对这些区域重点检查,如果厚度不符合设计要求,要立即采取补喷工作。完成整体工作之后,施工单位要立即清理施工废料,例如统一清运剩余的铁丝网和肥料袋等,避免引发环境污染问题。

参考文献:

- [1] 陈潇.水利工程施工中的土石方施工技术优化措施[J].建材发展导向,2026,24(06):91-93.
- [2] 魏阳,雷永鹏,徐军.水利工程施工管理对后期生产运行的保障机制[J].城市建设理论研究(电子版),2026,(07):49-51.
- [3] 李飞,张春媛.水利工程防洪堤坝施工中的土体加固技术研究[J].全面腐蚀控制,2026,40(02):195-197.
- [4] 邵正贤.绿色低碳导向下水利工程施工技术创新与实践探析[J].农业灾害研究,2026,16(02):163-165.
- [5] 罗岚,熊霜霜,罗梁文,等.面向可持续发展的重大水利工程生态价值动态仿真研究[J].项目管理技术,2026,24(01):39-50.

2.4 养护管理

(1) 早期浇水:施工单位要结合当地气候环境和土壤干湿度条件调整植被恢复,在早期要对边坡及时浇水,提高土壤的含水率,为植物种植奠定基础。要选择在早晨浇水。规避植物灼烧和疾病感染问题。以土体总厚度的80%为基础控制浇水量。

在浇水过程中对水流速度和出水量合理控制,不能直接利用高压水流冲灌,否则将会引发基质滑落和种子破损流失问题。施工单位要利用合理选择雾化喷淋设备,向植物基质内部均匀地渗入水分。如果坡度较大,施工单位要少量多次地浇水,避免单次浇水量过多而产生径流,否则将会带走养分和种子等,同时避免顺着坡面快速流走水分。种子全部发芽和幼苗出齐之后,施工单位要结合当地天气检查土壤湿度,通过及时补水提高幼苗的存活率,保证植物群落的稳定性。

(2) 追肥:利用人工追肥法,提高土壤养分的合理性,以植物生长情况和土壤温湿度等控制肥料的用量和追肥时间。通常是在植物分蘖期和生长旺期分别追肥,优先选用氮磷钾配比均衡的缓释复合肥,并搭配腐熟有机肥料,不仅满足了植物生长养分需求,同时改善土壤团粒结构,提高土壤的保水性和透气性。在施肥中施工单位要合理控制肥料和植物根茎、茎叶的间距,规避烧苗问题,完成施肥工作之后要缓慢浇水,有利于快速溶解渗透肥料,辅助植物吸收养分。针对局部生长不良和出苗稀疏问题,要合理增加追肥量,同时在叶面喷施尿素和磷酸二氢钾混合溶液,有利于满足植物的微量元素需求,优化整体植物的生长态势,在整个高陡边坡均匀地覆盖植被。

3 结语

本文分析了水利工程高陡边坡绿色防护施工技术,目的是弥补传统边坡防护技术的不足,保证边坡结构的稳定性和生态恢复效果。本文首先分析了常用的绿色防护施工技术,在提高边坡防护水平的同时优化植被恢复效果,降低水土流失和地质灾害发生率。同时结合具体案例分析了高陡边坡绿色防护施工技术的应用要点,通过提高施工规范性,优化边坡防护效果,切实保障水利工程质量和安全性。