

水利水电工程边坡防护和植被恢复设计

高小虎¹ 黄翔² 田露³

- (1. 北京清大绿源科技有限公司, 北京 100084;
2. 国电大渡河流域水电开发有限公司, 四川 成都 610041;
3. 北京师范大学环境学院, 北京 100875)

【摘要】 为解决干热河谷区水利水电工程边坡防护和植被恢复的技术难点, 本文选取位于大渡河流域的猴子岩水电站项目区某边坡作为研究对象, 通过对该边坡的气候、土壤和植被的调查分析, 制定出植被恢复的保水涵水、长效绿化基质、多样性植被三项关键技术, 结合工程实践, 开展了工期、坡面防护、保水涵水、土壤配方和植被群落五项设计, 并制定了详细的施工方案, 为干热河谷区水利水电工程中的类似工程设计提供参考。

【关键词】 干热河谷区; 边坡防护; 植被恢复

中图分类号: TV222

文献标识码: A

文章编号: 2096-0131(2017)09-0038-05

Slope protection and vegetation restoration design of water conservancy and hydropower project

GAO Xiaohu¹, HUANG Xiang², TIAN Lu³

- (1. Beijing Qingda Lüyuan Technology Co., Ltd., Beijing 100084, China;
2. Guodian Dadu River Basin Hydropower Development Co., Ltd., Chengdu 610041, China;
3. School of Environment Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: In the paper, one slope of Houziyan Hydropower Station Project area in Dadu River basin is selected as the research object in order to solve the technical difficulties of slope protection and vegetation restoration of water conservancy and hydropower project in dry-hot valleys areas. Climate, soil and vegetation of the slope are investigated and analyzed. Three key techniques are formulated, including water conservation, long-term afforestation matrix, diversified vegetation. Engineering practice is combined for designing construction duration, slope protection, water conservation, soil formula and vegetation group. Detailed construction plan is formulated, thereby providing reference for similar design in water conservancy and hydropower project in dry-hot valleys areas.

Keywords: dry-hot valley; slope protection; vegetation restoration

大渡河发源于青海省果洛山东南麓, 干流全长 1062km, 天然落差 4175m, 全流域面积 7.74 万 km², 多年平均年径流量 473 亿 m³, 其干流和主要支流水力资源蕴藏量 3368 万 kW, 占四川省水电资源总量的 23.6%。猴子岩水电站位于四川省甘孜藏族自治州康定县境内大渡河干流上游, 坝址河段位于康定县孔玉

乡, 部分库区在丹巴县和小金县境内, 总装机容量 170 万 kW, 多年平均年发电量 73.64 亿 kW·h。该区河谷植被稀疏、生态系统退化、自然灾害频发, 植被恢复难度极大, 具有典型的干热河谷特征。同时, 水电开发建设必然会对生态环境造成影响, 而猴子岩水电站确立建设成绿色电站的目标后, 加强生态环境保护、水土流

失防治和绿色植被恢复的工作任务更加迫切,尤其是水利水电工程中的高陡边坡防护和植被恢复设计具有重要的现实意义。

水利水电工程开发建设过程中,生态环境退化程度严重,受气候、土壤和植被多种因素影响,边坡植被恢复工程开展十分困难,一直是科研工作和工程实践中重点关注和急需解决的难题^[1-5]。干热河谷区已有的研究工作主要是从土壤因子、物种筛选、人工造林等方面着手进行。针对我国西南地区河谷地形的植被恢复开展的研究,唐国勇等分析了植被恢复对退化土壤的影响^[6],张映翠分析了乡土植物对土壤修复的可能性^[7],韩杰等比较了干旱河谷植被物种多样性的特点^[8],陈其兵等提出了河谷地区的生态植被恢复模式^[9]。而针对大渡河流域的类似研究较少,黄翔等对大渡河流域的植被进行了详细调查分析,初步提出了在这一区域开展植被恢复的困难度,同时也论证了技术上存在一定的可行性^[10],白霞等对猴子岩料场边坡植被恢复的节水技术进行了讨论^[11]。因此,已有的研究少有发现能在干热河谷区成功恢复植被的方法,技术手段上有待进一步研究和开发,而且针对大渡河流域的专项研究更为少见。

鉴于此,本文特别选取四川省康定县孔玉乡建设的猴子岩水电站作为研究区域,选取猴子岩水电站项目区折洛沟桥上游的某边坡作为研究对象,制定边坡防护和植被恢复的关键技术、工程设计和施工方案,为大渡河流域水电开发建设中的植被恢复工程提供参考。

1 工程概况

1.1 工程环境条件

猴子岩水电站具有干湿季节分明、日照长、晴天多、气温日变化大等典型的干热河谷季候特征。多年平均气温 12.2℃,极端最高气温 36.6℃,极端最低气温 -10.7℃;多年平均相对湿度为 60%;多年平均蒸发量 1600mm;多年平均降水量 600mm,历年最大日降水量 56.2mm;最大风速 17m/s;多年平均积雪日数全年

为 1.7d。区内气象灾害主要有旱灾、冰雹、暴雨和洪灾等。土壤以褐土、山地褐土为主,土体具有紧、瘦、薄、干的特点。原生植被多以河谷坡地的旱生灌草丛为主,灌丛植被主要有高山栎、黄荆、白刺花、草沉香、角柱花、山针、马桑等。

1.2 植被恢复难点

猴子岩水电站植被恢复工程边坡为 S211 新线的路堤边坡,也是 S211 旧线的路堤边坡,坡面分布着不同风化程度的层状变质细砂岩,内夹碳质千枚岩,细类为砂土、碎砾石层,见下图。经科研、设计和工程组人员进场调查分析,认为本工程具有三大难点。



工程边坡原状地貌图

a. 水分不足。根据边坡有效降雨量的计算方法,猴子岩水电站年降雨量为 600mm,边坡有效降雨量不足 400mm,再加上本区河谷常年风大,加大坡面水分蒸发速率,使本区的高陡边坡形成了极恶劣的植物生长条件。同时,本区河谷地形的积热程度十分严重,夏季有严重伏旱现象,新生植物幼苗木质化程度低,耐高温性能差,已成活植株易出现枯梢。加之山高坡陡平地少,天然降水径流速度大,坡面土壤持水量低,降水入渗少而流失多,即便是雨季,有限的降水量能被植物利用的比例也非常小。

b. 土壤瘠薄。由于坡面为上方道路施工时形成的砂土、碎石,坡度相对较陡,大量松散土石在坡面堆积,土层浅薄、养分贫瘠,自然恢复极为困难,而且由于原始坡面被渣体覆盖,坡面表层堆积体不具备植物生长的基本条件,尤其是缺少植物生长的土壤结构和养

分,植被恢复前需对坡面进行改良处理。

c. 植被发育差。工程所处的气候和土壤条件所孕育的植被,层次简单、覆盖率低、发育差,不仅不能合理地利用水资源和区域内丰富的光热资源,而且截留地表径流、保护水土资源和防风抗风能力非常有限,导致坡面植被稳定性差、生态系统脆弱。在气候、生物、母质等综合条件作用下,生态十分脆弱,一旦扰动破坏,就很难恢复到原始植被状态。

2 植被恢复关键技术

针对植被恢复存在的水分不足、土壤贫瘠、植被发育差的三大难点,本工程在设计和实施前,首先对气候水文、现场土样和原生植被展开了大量的调查分析和取样测试,总结出工程自身的植被恢复制约因子,针对性地提出对应的解决办法,并形成三项“水、土、生”植被恢复关键技术。

2.1 保水涵水技术

解决土壤水分不足关键在于坡面土体的保水涵水能力,并且必须保证这种保水涵水性能的持久性。本工程通过添加保水制剂,在有限的坡面土体中设置两层保水结构。一是在土体底层(厚度3~5cm)形成保湿储水层,当降雨或人工浇水使土体湿度相对较高时,能充分吸引水分并储存,当持续干旱时土体湿度降到一定程度时,能缓慢释放水分供给植物生长,从而延长坡面土体的保湿历时,提高持久性能;二是在土体表层(厚度5~10cm)形成保水吸附层,能主动吸附和保持一定水分含量的同时,使土体表层持续具有良好的壤性结构,且能在土体最外层形成“薄膜”,降低地表蒸发速率。同时,结合无纺布等覆盖,有效保障植被恢复工程初期植物幼苗的生长需求。

2.2 长效绿化基质技术

由于整个坡面没有土壤,下侧为挂渣体,堆积厚度不均,碎石松散程度也不一样,上侧为高陡岩石面,局部甚至出现倒坡,岩石风化程度弱。因此,植被恢复需首先解决植物生长所需的土壤问题。本工程主要采取长效绿化基质配方技术,首先修整坡面结构促其稳定,

同时施用一定成分的挂渣体填充材料和岩石风化剂,再在表层喷附一层植物生长基质,最终形成一层良性的土壤结构,这种土壤是当地熟土、草炭土、有机肥、绿化添加剂的合成物,不仅能保证壤性结构良好,生长养分充分,而且能与现有坡面紧密结合,加速植物生长和生态演替过程。

2.3 多样性植被技术

通过植物生长实现坡面的植被覆盖是植被恢复工程的最终目标,而植物生长是一个长期过程,从植物的苗期生长、植株扩繁、群落竞争、生境维持,需要一种相对稳定的演替过程,在水、土等条件基本满足的条件下,多样性植物品种的选取和适应性植被群落的建立是植被恢复工程成功的关键。本工程地处大渡河流域中段,干热河谷气候非常明显,拟参照本地物种类型,强调灌木护坡,营造以灌木植物为主,草灌结合的多样性立体植被。

3 工程设计

3.1 工期设计

受干热河谷气候特征影响,本区的植物生长速率相对缓慢,若多年生植物未形成相对茁壮的株体容易受到冬季冻害而难以越冬。因此,为保证首年的植被恢复时长尽可能延长,植物在首年能够充分生长,本工程的最佳施工期宜安排在11—12月或3—4月,植物出苗时间为4—5月,通过5—10月近半年生长期,积累相对丰富的有机枝体,为顺利越冬创造条件。

3.2 坡面防护设计

由于本工程坡面结构复杂,采取分区独立处理,以保证坡体和坡面稳定。对于堆积体的处理,主要通过清理浮石、平整坡面,过大的缝隙填充有机填充物;对于岩石体的处理主要是对坡度及反坡的修整,并在高处和坡面汇水区域设置截排水路由。处理完后对整个坡面加挂热镀锌铁丝网,并以间距1~2m,深度1~1.5m的锚杆进行锚固,规格采用 $\phi 12\text{mm}$ 螺纹钢,局部松散体采用R25N的自钻式锚杆。锚杆全部用水泥砂

浆捣实,网体在加挂时通过拉升张紧,紧贴坡面,且网间搭接宽度不小于 5cm,并用铁丝绑扎固定,避免滑脱。

3.3 保水涵水设计

坡面植物生长要求的土壤有效含水率 5% ~ 6% 以上。本工程底层土体使用淀粉接枝丙烯酸盐保水剂,表层土体使用聚丙烯酰胺保水剂,保证土壤含水率达到正常情况下的 3 倍以上,连续 3 ~ 4 个月内无降水情况下能保证土壤含水率在 5% 以上,在极端条件下(6 月内无降水)有效含水率仍达 4% 以上。

3.4 土壤配方设计

本工程的土壤是由多种成分组成的混合物,能满足植物生长所需的均衡营养成分,养分指标见表 1,同时还兼具良好的团粒结构,总空隙度不小于 40%,容重为 $0.8 \sim 1.2 \text{ g/cm}^3$,且不易板结和分层,干后不出现明显的收缩和龟裂(平均裂隙 $\leq 1 \text{ cm}$);具有良好的附着力和黏结力,经得起自然降雨和人工灌溉的冲刷,并具有良好的渗透性、保水性和保肥性。

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(P_2O_5)	g/kg	≥ 0.6
3	全钾(K_2O)	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

3.5 植被群落设计

本工程采用以灌木为主,草本植物与灌木植物优化配置的理念营造多样性护坡植被。综合考虑工程的自然条件,植被群落设计的主要植物品种为高羊茅、紫花苜蓿、狗牙根、百喜草、假俭草、紫穗槐、黄荆、马桑、马棘、水白杨、马蹄金等草灌种子,播种总量为 $50 \sim 70 \text{ g/m}^2$,在局部坡面坡度接近 90° 区域补栽藤类植物,见表 2。

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	—

4 工程施工

4.1 施工准备

为实现工程的植被恢复目标,根据工程的规模、施工工艺、技术要点和工期要求,提前 1 ~ 2 个月准备施工机械和材料。施工机械主要包括空压机、喷播机、发电机、钢筋加工设备、搅拌机、抽水机等。施工材料主要包括镀锌防护网、锚杆、当地熟土、草炭土、有机肥、绿化添加剂、保水剂、覆盖物和多样性植物配方种子,且部分材料需提前开展效果测试,如壤土养分含量、保水剂吸水倍率、种子发芽率等。

施工前,还应就工程周边环境进行详细勘察,在保障下方道路通行的前提下,在路基挡土墙上侧设置被动防护网,明确施工临时占地范围,合理布设原料堆放点、机械安装区,同时作好各区的水土保持防治工作。

4.2 施工方法及流程

a. 坡面清理。平整坡面,对于较松动的岩石坡面,采用人工方法进行清理浮石、浮土、树根等,并对局部凸凹不平区域、陡坡或光滑面进行必要的处理。做到处理后的坡面倾斜一致、平整、无大的石头突出、无其他杂物存在,施工前坡面的凹凸度控制在 $\pm 10 \text{ cm}$ 左右,最大不超过 $\pm 30 \text{ cm}$,使其利于基质和岩石表面的自然结合,并根据实际情况在坡顶、坡脚及平台适当设置截排水沟等排水设施。

b. 打锚施工。为了固定镀锌网,形成岩面植物生长基础,对岩石裸露区通过运用小型空压机带动风钻进行打孔作业,打孔密度一般间距为 $100 \sim 200 \text{ cm}$,打

孔深度一般为 100 ~ 150cm,然后将钢筋锚杆插入孔内,并灌入水泥砂浆固定锚杆。视边坡具体情况,局部区域需要适当加密锚杆,以保证挂网牢固。

c. 挂网固定。完成打锚施工后,在坡面铺设镀锌铁丝网。本工程采用钢丝直径为 1.9 ~ 2.0mm,网孔为 5 ~ 6cm × 5 ~ 6cm 的菱形镀锌金属网。挂网施工时自上而下放卷,上端应延伸 1 ~ 1.5m,相邻两卷镀锌铁丝网分别绑扎铁丝连接固定,两网交接处要求有 5 ~ 8cm 的重叠。铁丝网应与锚杆间紧密捆扎,并牢固地贴紧坡面。

d. 客土喷播。对当地土壤进行筛选,以满足喷播机械的粒径要求,然后将绿化添加剂(约占总体积的 20%),草炭土、有机肥等绿化物料混合,通过机械搅拌均匀后在大马力空气压缩机的风压下,将种植基质均匀地喷上坡面,喷射厚度 8 ~ 10cm。绿化添加剂的混合比例需按规定严格操作,用量精确;绿化基质投入搅拌机后,需搅拌 1min 以上;喷射时尽可能以垂直于坡面角度进行,避免仰喷和斜喷,凹凸部分和死角部分要充分注意;严格要求喷射厚度和均匀度,因天气原因造成的问题应补喷。

e. 覆盖养生。在喷射完成后,通过人工铺盖草帘或无纺布,并用竹钉或木桩加以固定,两端用土压埋稳固,目的是防止水分蒸发过快,促进种子发芽和幼苗生长,预防雨水冲刷。

4.3 养护管理

a. 早期浇水。水利水电工程中的植被恢复应结合季节雨情、库区气候、干湿状况进行调整。整体上早期需对工程边坡进行浇水作业,以补充土壤水分,尤其是在施工完成后不久,必须保证充足的水分以利于植物种子出苗。浇水时间为早晨,不宜中午和晚上浇水,前者易引起坡面植物灼烧,后者易使植被感染疾病。浇水量以土湿深度超过土体总厚度的 80% 为准。

b. 追肥。采用人工追肥法,对施工拌料不均匀导致局部土壤养分不足的地方进行查漏补缺,根据植物长势、土温、土湿决定肥料的用量和追肥时间。

5 结 语

受干热河谷区的恶劣气候和边坡困难的立地条件影响,水利水电工程中的高陡边坡植被恢复极为困难。猴子岩水电站在水电开发建设的同时,加大了对生态植被的保护和恢复考虑,开展了细致、系统的植被恢复工程研究和实践工作。通过工程实践,逐步展开了对猴子岩水电站周边的原生植被调查、适生物种测试、新型植被恢复技术研究等工作,对逐步解决干热河谷区长期以来的高陡边坡植被恢复技术难题,实现建设绿色电站、保护水土资源、恢复生态环境提供了经验储备和技术支撑。

参考文献

- [1] 李晓飞, 范贵隆. 边坡生态工程技术现状综述及展望[J]. 水利建设与管理, 2012(7): 65-68.
- [2] 杜凌. 论水利工程建设中生态环境的保护[J]. 水利建设与管理, 2013(1): 68-70.
- [3] 李昆, 刘方炎, 杨振寅, 等. 中国西南干热河谷植被恢复研究现状与发展趋势[J]. 世界林业研究, 2011(4): 55-60.
- [4] 杨振寅, 苏建荣, 罗栋, 等. 干热河谷植被恢复研究进展与展望[J]. 林业科学研究, 2007(4): 563-568.
- [5] 晓鸣. 四川干热河谷地区生态建设的主要问题与对策建议[J]. 社会科学研究, 2001(5): 33-36.
- [6] 唐国勇, 高成杰, 李昆. 植被恢复对干热河谷退化土壤改良的影响[J]. 生态学报, 2015(15): 5157-5167.
- [7] 张映翠. 乡土草本植物对干热河谷退化土壤修复的生态效应及机制研究[D]. 重庆: 西南农业大学, 2005(5): 9-13.
- [8] 韩杰, 沈泽昊, 石松林, 等. 雅砻江和大渡河干旱河谷植被物种多样性比较: 气候、地形与空间的影响[J]. 生物多样性, 2016(4): 421-430.
- [9] 陈其兵, 刘光立, 李永江. 四川干热河谷地区公路生态植被恢复与重建模式探讨[J]. 中国园林, 2006(12): 80-82.
- [10] 黄翔, 高小虎, 刘四华. 大渡河流域干冷河谷特征植被调查分析——以某水电站为例[J]. 四川环境, 2016(2): 60-64.
- [11] 白霞, 操昌碧, 熊峰. 高陡边坡植被恢复中节水技术运用研究——以猴子岩料场边坡植被恢复为例[J]. 水电站设计, 2014(4): 74-77.