

边坡生态防护技术标准设计研究

吴小蕙¹, 王彦峰¹, 陈建东^{2*}

¹广东电网有限责任公司电网规划研究中心, 广东 广州

²南京水利科学研究所, 江苏 南京

Email: *jdchen@nhri.cn

收稿日期: 2021年4月10日; 录用日期: 2021年5月11日; 发布日期: 2021年5月18日

摘要

边坡生态防护治理是工程建设的重要组成部分。受气候条件、地形地貌、地质条件等因素影响, 如何合理选择边坡生态防护技术成为困扰设计人员的难题。在充分阐述生态防护原理的基础上, 提出了边坡生态防护标准化设计思路, 从边坡类型、坡度、植被选择、种植技术等角度阐述了边坡生态防护工程技术、植被选择和种植技术参考原则, 可实现生态防护技术快速合理选择。本文对边坡生态治理可起到指导作用。

关键词

边坡, 生态防护, 标准化设计, 技术选择

Study on Standardization Design of Slope Ecological Protection Technology

Xiaohui Wu¹, Yanfeng Wang¹, Jiandong Chen^{2*}

¹Grid Planning and Research Center, Guangdong Power Grid Co., Ltd., Guangzhou Guangdong

²Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing Jiangsu

Email: *jdchen@nhri.cn

Received: Apr. 10th, 2021; accepted: May 11th, 2021; published: May 18th, 2021

Abstract

Slope ecological protection and management is an important part of engineering construction. Influenced by climatic conditions, landform, geological conditions and other factors, how to reason-

*通讯作者。

ably choose slope ecological protection technology has become a difficult problem for designers. On the basis of fully expounding the principle of ecological protection, the standard design idea of slope ecological protection was put forward, and the reference principles of slope ecological protection engineering technology, vegetation selection and planting technology were expatiated from the angle of slope type, slope, vegetation selection and planting technology, which could realize the rapid and reasonable selection of ecological protection technology. This paper can play a guiding role in slope ecological management.

Keywords

Slope, Ecological Protection, Standardized Design, Technology Selection

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着社会经济的快速发展, 交通设施、水利设施、电力设施、矿产资源开发等工程的兴建以及地震和极端天气导致的滑坡、泥石流等自然灾害的发生, 常造成边坡大面积裸露[1] [2] [3]。不仅严重破坏了原有的生态植被、导致生态环境失衡, 还可能带来或进一步诱发如山体滑坡和泥石流等灾害。然而, 裸露边坡自身重新恢复成原有生态环境的所需时间较长或能力较差, 故多采用生态防护技术进行恢复。边坡生态防护是指利用植物或植物与其他材料结合的方式, 固定边坡土壤、防治表层侵蚀、恢复生态环境的措施, 其建立在稳定边坡基础上, 更加注重生态效应[4]。

生态边坡防护技术, 美日等发达国家走在前列。美国在 20 世纪 30~40 年代开展了公路边坡植被恢复工作; 50 年代后, 立法要求新建公路两旁必须进行绿化; 80 年代发明了三维网植草护坡技术[5]。日本边坡植被防护技术起步比美国晚 20~30 年, 但通过不断研发、革新和实践后, 目前处于世界领先地位[6]。如在 20 世纪 50 年代, 发展了喷附绿化、袋筋绿化等技术; 80 年代, 在湿法喷播技术的基础上, 开发了客土喷播技术, 解决了岩质边坡植物种植难的问题; 近年来, 又开发了厚层基质挂网喷射、混凝土框格喷附和生态水泥喷附等技术, 解决了高、陡岩石边坡的绿化问题[7] [8]。与发达国家相比, 国内在边坡生态技术方面的研究起步较晚, 20 世纪 90 年代以前一般多采用撒草种、穴播或沟播、铺草皮、片石骨架植草、空心六棱砖植草等护坡方法。广东省水科所于 1989 年从香港引进喷播机, 在华南地区开展液压喷播试验。1996 年云南省昆明——曲靖高速公路全线进行了生态防护, 并首次采用瑞士湿法喷播技术进行大规模植被种植, 为我国边坡生态防护技术的提高做出了有益尝试[9]。然而, 大多生态防护措施还停留在工程实践或经验选择的层次, 对边坡类型如土质、岩质和混合质边坡以及边坡坡度等对防护效果的影响了解不够深入, 植物种类搭配基本处于单一无搭配或照搬其他案例的状态[10], 常造成生态防护当年有效、隔年失效现象。其原因主要是对边坡生态防护原理和不同生态防护技术适用性了解不够深入。为了便于设计人员合理选择边坡生态防护类型, 本文从阐述生态防护机理出发, 提出边坡生态防护标准化设计思路, 为相关人员提供指导和借鉴。

2. 生态防护原理

边坡生态防护涉及工程力学、生物学、土壤学、肥料学、园艺学、环境生态学等学科, 分析其防护原理时还需综合考虑区域气候条件、地形地貌、地质条件、边坡类型、生态植物结构等情况, 从植被防

护原理和生态防护原理两方面进行阐述。

1) 边坡植被防护原理。植被防护主要体现在植物根系的力学效应和植被系统的水文效应。① 力学效应是指植被通过根系的加固作用来提高土壤的抗剪强度，从而增强边坡浅层稳定性。根系对土的加固作用的大小主要依赖于根的强度和空间分布情况。根的强度和根系结构受植物种类和土壤条件影响。一般来说，草本植物根系直径一般小于 1 mm，根系密度土壤深度的增加表现出 3 个显著特点，即 90% 的根系在 0 cm~30 cm 土层内，呈急剧减少趋势；约 8% 的根系在 30 cm~70 cm 土层；70 cm~150 cm 土层根系最少，约占 2%。草本植物根系分布特征决定其主要是加筋加固作用[7]。木本植物的根系主要由较深的垂直根系和较浅的水平根系组成，其加固作用主要体现在主根的锚固作用和水平根系的加筋作用。② 水文效应是指降雨时边坡受到降雨冲击，部分在边坡面汇集形成径流产生冲刷。植物系统具有直接减少土壤侵蚀的作用，并通过截留、径流延滞、土层固结等减缓坡面侵蚀[11]。

2) 植被生态防护机理。根据土质学、植物生理学、生态学与土力学的有关原理，土壤与植被在它们形成和演化的过程中形成了一个相对整体的生态环境系统[12]。主要体现在① 植被与气候相互影响，相互改良。② 植物能吸收大气中的有毒有害物质，净化空气。③ 植被与土壤及其它生物相互依存和相互促进，根茎腐解为微生物增加了氮、碳等养料，微生物大量繁殖利于边坡生态环境恢复。

3. 生态边坡标准化设计

3.1. 设计调查

设计调查是进行边坡生态防护的基础工作，对选择边坡生态防护类型至关重要。调查内容主要包括气候条件调查、地形地貌调查、地质调查和周边环境调查。

1) 气候条件调查。调查边坡附近 3~5 年的气象资料，统计分析降水量、气温、旱季雨季等特征。

2) 地形地貌调查。统计边坡坡度、坡高、倾向等边坡状况资料。

3) 地质调查。地质调查分为工程地质调查和水文地质调查。地质调查可依据地勘报告，并进行必要补勘，查明岩性、风化程度、地下水赋存条件等信息。

4) 周边环境调查。周边环境调查包括周边建设环境和周边植物调查。周边建设环境包括周边交通运输、建筑物和居民环境调查。周边植物调查是指对边坡周边原生乔木、灌木、草本以及藤木种类进行调查。

3.2. 生态护坡工程措施选择

借鉴相关规范标准及文献资料[13] [14]，将边坡按岩土类型分为土质、岩质和混合质边坡，按坡度分为缓坡(<30°)、斜坡(30°~45°)、陡坡(45°~75°)和特陡坡(>75°)，按植被种植方式将边坡生态防护技术分为喷附类、植生类和栽植类。总结已有研究成果，将边坡生态防护技术适用条件及特点列于表 1。

Table 1. Applicable conditions and characteristics of slope protection technology

表 1. 边坡防护技术适用条件及特点[13] [14]

类型	防护形式	坡度	边坡质地	特点
生态防护 基础工程	三维网	<35°	砂性土、强风化岩质或混合质边坡	工艺简单，施工速度快，固土性能优良，经济可行。
	土工网	<30°	土质、混合质边坡	工艺简单，施工速度快，固土性能优良，成本低。
	土工格室	<60°	土质边坡	植被生长环境稳定。
	柔性面层	<30°	土质边坡	土工织物、土工膜、土工复合材料、土工特种材料。通过锚固系统，可进行陡坡生态防护。
	三联生态防护技术	>60°	岩质边坡	能在保证高陡边坡稳定性的基础上进行植被恢复，但造价高，施工复杂。

Continued

	液压喷播	<30°	土质边坡	施工简单、速度快、均匀性强、质量好, 工程造价低。
	化工 OH 液植草	<30°	土质边坡	施工简单、迅速, 边坡防护、绿化效果好。但 OH 液还未能实现量化, 工程造价较高。
喷附类	客土喷播	<45°	土质、岩质边坡	效果良好, 应用广泛, 能够改良土壤结构, 实现草、灌木等植物群落合理的配比, 但资金投入较大。
	不挂网喷混植草	<45°	岩质边坡	简单易行, 但施工速度慢, 且岩面达到完全覆盖往往需 2~3 年时间。
	挂网喷混植草	45°~70°	岩质边坡	植被生长情况较好, 覆盖度较高, 生长均匀、一致。
	TBS 喷射技术	<60°	岩质边坡、混凝土坡面及浆砌片石坡	与传统的浆砌片石护坡技术相比, 可节省投资 20%~30%, 抑制水土流失, 护坡效果好。
植生类	植生袋	45°~70°	土质边坡、风化岩石边坡或砂质边坡	施工简单、省工、省时、易养护, 种子不易流失, 护坡效果好。
	草包技术	<45°	土质边坡或坡角<60°岩质边坡	施工简单、成本低, 植被生长情况理想。
	植被毯	<45°	劣质土坡、岩质边坡	工艺简单、施工和管理成本较低。
栽植类	种草护坡	<45°	土质边坡、强风化岩质边坡	施工简单、造价低。但存在草籽播撒不均匀, 草籽易被雨水冲走, 种草成活率低的问题。
	平铺草皮护坡	<45°	土质边坡、强风化岩质边坡	施工简单、造价低。但草皮易被雨水冲走, 成活率低。
	飘台种植槽	>60°	中风化或微风化岩质边坡	快速绿化, 对基质优化配置要求高。
	栽植穴植苗	>60°	岩质边坡、混凝土陡坡	能够为植被提供稳定的生长条件。
	废弃轮胎恢复植被	>45°	土质或岩质边坡	废物利用, 加固土体, 为植被生产提供条件。
	格式网格植草	<30°	土质或土石混合边坡	施工简单, 外观齐整, 美观大方, 具有防护、绿化双重效果, 工程造价适中。
	香根草技术	20°~70°	土质或破碎岩质边坡	生长速度快, 但地上绿篱较高、缺少类似草坪的景观效果; 不耐阴, 不能与乔木套种。

3.3. 植被物种选择

边坡绿化应充分发挥植物固土、涵养水源、绿化、造景等的优势, 依据生态学和水土保持原理, 根据植物不同的生物特性, 选择适应边坡生存环境的搭配种类, 实现节约成本、事半功倍的绿化效果以及快速修复生态的目标。常用边坡植被类型及适用范围见表 2。

Table 2. Vegetation types and application scope of slope protection
表 2. 护坡植被类型及适用范围[7] [8]

类型	特点	种类	适用范围
花卉	美化效果好	种类繁多	与草本植物结合, 多用于景观要求较高的边坡。
草本植物	植株较小, 以绿化为主。	种类繁多	广泛用于边坡生态防护。
藤木	需攀附在其他物体上。	典型如爬山虎、葛藤、山葡萄等	适用于边坡的垂直绿化, 可形成坡面立体绿化景观。
灌木	分枝多、分枝点低。	一般分为落叶灌木和常绿灌木	用于植被护坡时常与草本植物混合种植, 可增加植被对土壤的加固能力和增加观赏性。
乔木	树形高达、主干明显、寿命长、树冠多姿。	一般分为落叶乔木和常绿乔木	遭遇大风时宜倒伏, 一般不用于坡面。

针对边坡的生存环境,生态防护物种一般应具有以下特点:耐干旱瘠薄,宜粗放管理;根系较为发达,能固土;生长迅速,枝繁叶茂;以常绿植物为主,利于有机物质积累;改良土壤能力较强,互利共生。具体选配时,应根据气候、土壤、水文等自然条件,因地制宜,合理选配植物种类或组合栽植种类以保障物种多样性。植物搭配只有适应边坡生存环境才能形成较为稳定的群落,进而达到预期防护和绿化效果。

3.4. 植物种植技术

植物种植技术主要包括场地准备、种植和植后管理三部分内容。其中,场地准备主要在于清除影响种植的障碍,如杂土剥离、土壤调质等,其直接决定了边坡生态防护实施效果;种植技术包括植被种类、植被搭配方式、种植时间、种植密度以及播种方式等的确定,应综合考虑周边植被分布、边坡构造及岩土性条件,确定种植方法;植后管理侧重植被绿化效果的可持续性,主要涉及喷水。一般来说,边坡生态防护管理属于粗放性管理,通过观察或监测检测手段发现植被退化或土壤养分不足时,可采取喷水、追肥、修剪、松土和病虫害防治等措施进行维护。

4. 结论与展望

1) 充分阐述生态防护原理的基础上,提出了边坡生态防护标准化设计思路,主要包括设计调查、工程措施选择、植被选择和种植技术等内容,为设计人员快速合理选择边坡生态防护技术提供了指导。

2) 边坡生态防护应因地制宜,综合考虑区域岩土条件、实际边坡类型以及生态植物结构等情况,并结合工程力学、生物学、土壤学、肥料学、园艺学、环境生态学等学科,研究土性、土体成分组构、岩性、岩体特征及植被选配、土壤肥力等因素对生态防护的影响,挖掘生态防护作用机理,并充分借鉴已有生态防护形式优点,发展边坡生态防护新技术,使边坡在满足稳定基本要求的基础上,具有优美、和谐的坡面生态景观。

基金项目

本文受广东电网有限责任公司电力规划专题研究项目“变电站综合生态环境保护系统的标准化设计研究(项目编号 031000QQ00200011)”资助。

参考文献

- [1] 张华君, 吴曙光. 边坡生态防护方法和植物的选择[J]. 公路交通技术, 2004(2): 84-86, 110.
- [2] 艾年申. 浅谈边坡生态治理[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2012(8).
- [3] 张飞, 陈静曦. 高速公路边坡生态防护浅析[J]. 土工基础, 2005, 19(5): 72-74.
- [4] 芦建国, 于冬梅. 高速公路边坡生态防护研究综述[J]. 中外公路, 2008, 28(5): 29-32.
- [5] 孙书存, 包维楷. 恢复生态学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [6] 周德培, 张俊云. 植被护坡工程技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [7] 辛娟. 高速公路边坡生态防护技术研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2006.
- [8] 李新玲. 公路碎裂岩质边坡植被防护固土技术及植物种的优化选择[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2012.
- [9] 汪伟刚, 潘峰, 曹杨, 等. 面向景观与生态效果的云南曲靖至嵩明高速公路(曲靖至马龙段)边坡绿化设计[C]//工程绿化理论与实践中国水土保持学会工程绿化专业委员会成立大会——暨首届工程绿化学术研讨会论文集. 北京: 中国水土保持学会, 2006.
- [10] 戴方喜, 宋林旭. 边坡生态防护与治理技术的研究及应用[J]. 中国水土保持, 2007(7): 20-22.
- [11] 赵明华, 蒋德松, 陈昌富, 等. 岩质边坡生态防护现场及室内抗冲刷试验研究[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2004, 31(5): 77-81.

- [12] 周跃. 土壤植被系统及其坡面生态工程意义[J]. 山地学报, 1999,17(3): 224-229.
- [13] 深圳市市场监督管理局. 边坡生态防护技术指南 SZDBZ 31-2010 [S]. 2010.
- [14] 广东省质量技术监督局. 道路边坡生态防护工程施工及验收技术规范 DB44/T 499-2008 [S]. 2008.