

水利工程中土壤侵蚀防治技术研究

杨雪峰

嵩县河湖事务中心

DOI:10.12238/hwr.v9i5.6358

[摘要] 水利工程为公共基础工程,在防洪防涝、农田灌溉、保障通航等方面,发挥着重要的作用。土壤侵蚀问题是水利工程中常见问题,严重危害土壤质量与水利工程效益。文章基于此,首先分析了水利工程中土壤侵蚀三大类型:水力侵蚀、风力侵蚀以及重力侵蚀,探讨了土壤侵蚀的特点,继而介绍了水利工程中常见的土壤侵蚀防治技术,包括临时防治技术、工程防治技术以及生态防治技术,最后探讨了当前土壤侵蚀防治技术的进展,包括多技术协同运用、数字技术赋能土壤侵蚀防治、新型技术的探索性应用。

[关键词] 水利工程; 土壤侵蚀; 防治技术

中图分类号: TV5 文献标识码: A

Research on Soil Erosion Prevention and Control Technology in Water Conservancy Projects

Xuefeng Yang

Song County River and Lake Affairs Center

[Abstract] Water conservancy projects are public infrastructure projects and play an important role in flood control and waterlogging prevention, farmland irrigation, and ensuring navigation. Soil erosion is a common problem in water conservancy projects, seriously endangering soil quality and the benefits of water conservancy projects. Based on this, the article first analyzes the three major types of soil erosion in water conservancy projects: Hydraulic erosion, wind erosion and gravity erosion were discussed. The characteristics of soil erosion were explored. Then, common soil erosion prevention and control technologies in water conservancy projects were introduced, including temporary prevention and control technologies, engineering prevention and control technologies and ecological prevention and control technologies. Finally, the progress of current soil erosion prevention and control technologies was discussed. This includes the collaborative application of multiple technologies, the empowerment of soil erosion prevention and control by digital technologies, and the exploratory application of new technologies.

[Key words] water conservancy engineering; Soil erosion; Prevention and control technology

水利工程为公共基础工程,在防洪防涝、农田灌溉、保障通航等方面,发挥着重要的作用。土壤侵蚀可能发生于水利工程建设各个时期,并且有着很大的危害性,不仅会导致土地退化,影响土壤肥力,也会影响水利工程的运行效率,危害水利工程的安全性。因此,做好水利工程中土壤侵蚀的防治,就成为水利事业高质量发展的必然要求。

1 水利工程中土壤侵蚀的类型与特点

1.1 水利工程中土壤侵蚀的类型

依据侵蚀机理的不同,水利工程中土壤侵蚀主要包括水力侵蚀、风力侵蚀、重力侵蚀三种类型。水力侵蚀是水利工程中最典型、最常见的侵蚀,包括面蚀、沟蚀、库岸侵蚀等。面蚀多见于施工临时堆土区、未防护的开挖面以及库区消落带,由地表径流或降雨冲刷裸露地表所致,以表层土壤的分散流失为主要

特点。沟蚀多见于渠道边坡、弃渣场坡面或库区冲沟发育区,由地表径流集中后形成细沟、浅沟或切沟所致,会破坏土壤结构,导致土壤侵蚀。库岸侵蚀多见于黏土库岸,由库水渗透、波浪冲刷所致,会导致土地软化,严重时,可引发岸坡坍塌。风力侵蚀多见于干旱、半干旱的多风少雨地区,如西北地区、华北地区。地表植被受水利工程施工的影响,被破坏,渠道沿线或露天料场裸露的松散土,在风力的作用下,形成扬沙或沙丘。重力侵蚀是重力因素导致的侵蚀,具有土壤性强的特点,常见的有崩塌、滑坡、泥石流等。以崩塌为例,大坝开挖面、渠道切坡等高陡边坡,在爆破、开挖等施工扰动下,易因土地失去支撑而突然垮落。

1.2 水利工程中土壤侵蚀的特点

土壤侵蚀包括自然因素导致的土壤侵蚀、人为因素导致的土壤侵蚀两大形态。水利工程中土壤侵蚀兼有自然因素导致的

土壤侵蚀和人为因素导致的土壤侵蚀,其主要特点有三:一是时空聚集性。水利工程建设包括立项、设计、施工、运维等多个阶段,其中,施工阶段是土壤侵蚀的高发期。研究显示,施工阶段的土壤侵蚀占水利工程全周期总侵蚀量的70%以上,对规模较大、建筑周期较长的水利工程而言,施工期间的土壤侵蚀更为严重^[1]。二是类型复合性。从前面的分析可知,水利工程中土壤侵蚀包括水力侵蚀、风力侵蚀、重力侵蚀等,现实层面,不同类型的侵蚀,往往同时发生,呈现出叠加、复合形态,如弃渣场暴雨引发泥石流,便同时包含三种侵蚀类型。侵蚀类型的复合性,对土壤侵蚀的防治带来了很大的挑战。三是影响滞后性。土壤侵蚀所带来的负面影响与土壤侵蚀的发生时间往往不同步,具有滞后性的特点。库岸滑坡等土壤侵蚀的危害,往往在水利工程运营数年后才显现。

2 水利工程中土壤侵蚀防治常用技术

2.1 临时防治技术

水利工程施工期间,受地表扰动、土方堆积等因素的影响,土壤侵蚀现象较为严重。临时防治技术即水利工程施工期间采取的土壤防治技术,以最大限度减少水土流失为目标。临时防治技术具有多重作用,不仅可以缓解水利工程施工期间的土壤侵蚀问题,也能为后续永久防治奠定坚实的基础。

(1) 临时拦挡与排水。弃土场、料场等土方堆积地,可采用草袋、编织袋或石笼进行临时拦挡。以草袋拦挡为例,将装有砂土的草袋,堆砌为与边坡1:1的挡墙,并于草袋的底部,设碎石反滤层,以防掏蚀。施工场地、开挖面等的雨水汇流冲刷,是导致水利工程土壤侵蚀的重要因素。临时排水主要通过排水沟、沉沙池来预防雨水的汇流冲刷,从而达成土壤侵蚀防治的目标。排水沟与边坡的比为1:1,梯形断面,以覆盖薄土或铺设塑料膜的方式防渗透。夏季高温多雨季节,汇水量及汇水面积较大,需用混凝土预制块或浆砌石加固。沉沙池设立于排水沟的末端,具有分级沉淀泥沙的作用。为充分实现沉沙池在土壤侵蚀防治中的作用,需定期开展沉沙池清淤工作,确保沉砂池的蓄积能力。

(2) 地表覆盖与临时固化。开挖面、施工道路等短期裸露地表,可采用地表覆盖的方式,防止土壤侵蚀。当前,地表覆盖的工具主要有薄膜、草帘、防尘网,不同工具有着不同的特点和适用场景。薄膜密封性好,能够有效防范雨水下渗引发的面蚀,施工结束后需立即回收。草帘作为生态材料,多以竹钉固定,具有保水保土效果好的优势,且可自然降解,无需回收,适用于生态敏感区域。防尘网由高密度聚乙烯制成,用U型钉固定,适用于风力侵蚀较为严重的区域。临时固化适用于需短期硬化防扬尘及侵蚀的区域,如施工道路、机械作业区等,主要方式包括简易硬化、化学固化两种。简易硬化多以废砖、碎石平铺、压实,在减少风蚀、雨蚀中具有良好的效果,化学固化则采用硅酸盐类等土壤固化剂在土壤表面形成抗冲性较强的硬壳。

2.2 工程防治技术

工程防治技术是以营造结构性设施为核心,通过截、排、拦、固来防治土壤侵蚀的综合性技术,在控制地表径流、稳定边坡、

拦截泥沙等方面有着突出的表现。从宏观的角度而言,工程防治技术包括坡面防护工程、沟道治理工程两大类,前者主要功能在于控制坡面径流与面蚀,后者则能控制沟蚀与泥沙输移。

(1) 坡面防护工程。水利工程中,坡面为土壤侵蚀的主要发生区,也是土壤侵蚀最为严重的区域。截排水、坡面覆盖与硬化、梯田等工程,能够通过地形的改变以及地表抗冲性的增强,减少径流冲刷,达到坡面防护的效果。以截排水工程为例,工程包括截水工程(截水沟)、排水工程(排水沟)两部分,截水工程位于坡顶,能够拦截坡面上方来水,防止集中汇流冲刷坡面,排水工程位于截水工程以及下沟沟道中间,能够疏导坡面径流,缓解径流对土壤的冲刷^[2]。对弃渣场边坡、高陡开挖面等强侵蚀区,基于混凝土或浆砌石的坡面覆盖与硬化具有良好的效果。

(2) 沟道治理工程。根据工程规模的不同,沟道治理工程主要分为以谷坊为代表的小型拦沙工程和以淤池坝为代表的中型拦沙工程两类。谷坊适用于小流域支毛沟,涵盖土谷坊、石谷坊、植物谷坊等多种类型。土谷坊适用于黄土区,石谷坊适用于石质山区,植物谷坊适用于生态较为敏感区域。无论何种类型的谷坊,均要确保上一谷坊淤积后不淹没下一谷坊。淤池坝适用于流域面积1~10km²的主沟道,由坝体、溢洪道、放水建筑物三大部分构成,具有拦沙以及造地双重功能,坝体为均质土坝,溢洪道多为开敞式或侧槽式,衬砌混凝土或浆砌石,以防水流冲刷,放水涵管埋设于坝体底部,主要功能是控制下泄流量,防止坝前水位过高。

2.3 生态防治技术

生态防治技术是基于生态系统自我修复能力的防治技术,融水土保持与生态功能恢复于一体,不仅可以改良土壤结构,降低土壤侵蚀风险,也具有良好的生态效益,能够提升生态系统的服务功能。随着生态文明建设的不断深入,生态防治技术被大量应用于水利工程土壤侵蚀防治中,并取得了良好的效果。

(1) 植被固土技术。下垫面抗蚀力减弱是导致土壤侵蚀的重要因素。机械碾压、翻松等施工活动,会破坏土壤原有结构,致使土壤内聚力及渗透系数下降。植被固土技术主要利用植被的地下根系网络来固持土壤,紫穗槐、香根草、狗牙根等根系发达的乡土物种,是植被固土技术常用物种。以香根草为例,其须根可深入土壤2~3米,具有良好的抗冲性,适用于土壤侵蚀剧烈的水利工程。基于乔木、灌木、草本植物搭配种植的立体式防治,能够显著提高植被固土技术的应用效果,其中,乔木具有截雨作用,能减少雨水对土壤的冲刷,灌木具有缓冲作用,能降低雨滴击溅能量,草本植物覆盖地表,并通过发达的根系来固土。

(2) 土壤改良技术。土壤改良技术以土壤理化性质的改善为核心,能够从源头上降低土壤的侵蚀敏感性。对季节性干旱区而言,覆盖保墒是土壤改良的有效方法。将秸秆、树枝粉碎物、树皮、松针、木片、草屑、椰丝等有机覆盖物,覆盖于土壤表面,不仅可以减少地表径流与蒸发,也能通过有机覆盖物的自然分解,来增加土壤有机质,提高土壤肥力,为植被固土技术的应用提供良好条件。团粒结构的土壤,具有良好的抗侵蚀性,针对水

利工程施工导致的土壤结构改变的问题,可向土壤中添加腐熟有机肥或生物炭,促进团粒结构形成,提高土壤抗剪强度。丛枝菌根等微生物,不仅能与植物根系形成共生体系,强化植物根系的固土能力,也能分泌土壤胶结物质——球囊霉素,增强土壤团聚体稳定性。

3 水利工程中土壤侵蚀防治技术的发展

3.1 多技术协同运用

工程防治技术、生态防治技术是水利工程中土壤侵蚀防治的两大核心技术,现实层面,两大技术也可联合使用,即以工程措施与生态措施的协同来实现“固土-滞流-生境修复”多重目标。以生态袋护坡技术为例,生态袋护坡技术是一种将工程护坡与生态修复相结合的技术,其以高强度、抗紫外线、抗老化、无毒、无害的生态袋为基本材料,在生态内装适合植物生长的种植土,通过将生态袋按照一定的规律堆叠、铺设在坡面上,形成具有一定稳定性和防护功能的护坡结构,同时为植被生长创造条件,实现坡面的生态修复和景观改善。生态护岸技术也是当前采用较多的综合性防治技术,如木桩+爬藤植物结构,既能以木桩的工程设施,提供抗冲基础,也能发挥常春藤、葛藤等爬藤植物根系的固土作用。

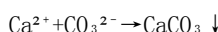
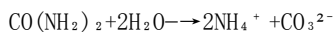
3.2 数字技术赋能土壤侵蚀防治

在数字技术不断发展与广泛应用的今天,人类社会已经步入数字时代。数字技术在水利工程土壤侵蚀中有着广阔的应用空间,而加强数字技术的应用,也是土壤侵蚀防治技术的重要发展趋势。首先,以传感器增强土壤监测能力。适用于土壤侵蚀监测的传感器主要有土壤湿度传感器、降雨强度传感器、风力风速传感器、含沙量测量传感器等,这些传感器能够动态反馈土壤的理化性质,为土壤侵蚀防治提供依据。以土壤湿度传感器为例,其主要用于土壤中水分含量的测量,能反映土壤的湿润程度。过湿或过干的土壤都容易导致侵蚀加剧,土壤湿度传感器的布设,有助于防范土壤、过干过湿的问题。其次,构建数字孪生模型。数字孪生是基于物联网技术、大数据技术、人工智能技术、虚拟仿真技术的综合性技术,能融合传感器数据、地理信息及侵蚀机理模型,映射与水利工程土壤环境同步的虚拟系统,助力土壤

侵蚀防治的创新性发展。

3.3 新型技术的探索性应用

水利工程中土壤侵蚀防治,具有重要的经济效益、社会效益及生态效益。近年来,随着科学技术的不断发展,许多新型技术被应用于土壤侵蚀防治中,并取得了良好的效果,为土壤侵蚀防治的创新性发展积累了经验。以微生物诱导碳酸钙沉淀(MICP)技术为例,MICP技术是一种生物-矿化耦合技术,主要通过微生物代谢活动驱动碳酸钙在土壤颗粒间沉淀胶结,从而提高土壤的抗侵蚀性能^[3],其技术原理为:



与传统的工程技术或生态技术相比,MICP技术具有多元化的优势,不仅可以显著提高土壤的抗侵蚀效果,提升土体抗剪强度2~3倍,且投入成本较低,具有生态友好性。因此,要加强MICP技术在坡面面蚀、沟道沟蚀、岸坡崩塌等典型侵蚀问题中的应用,全面提升土壤侵蚀防治效果。

4 结语

土壤侵蚀问题是水利工程建设中的常见问题,涵盖水力侵蚀、风力侵蚀、重力侵蚀等类型,对水利工程的运行与安全有着非常负面的影响。当前,临时防治技术、工程防治技术、生态防治技术已被广泛应用于土壤侵蚀防治中,并且,随着科学技术的不断发展,土壤侵蚀防治技术也在更新迭代。

[参考文献]

- [1]王小雪.水土保持监测及水利工程对土壤侵蚀的影响[J].水上安全,2024(02):55-57.
- [2]段永茂.面板堆石坝垫层施工及坡面防护技术探究[J].华东科技(综合),2020(12):314.
- [3]毛溢铭,郭尤林.微生物诱导碳酸钙沉淀(MICP)技术加固地下软土地基的试验研究[J].工程与建设,2025(01):132-134.

作者简介:

杨雪峰(1976--),男,汉族,河南省洛阳市嵩县人,工程师,本科,主要从事水利工程管理和施工。