文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4740 /（中图刊号）：715GL012

基于智能喷雾与海洋生物抑尘剂的壤土均质坝扬尘治理技术研究

李茂胜　方超　杨伟华
中国水利水电第九工程局有限公司
DOI:10.12238/eep.v8i3.2556

[摘　要] 近年来水库工程项目的扬尘治理工作受到广泛重视,科学进行扬尘治理能预防出现环境污染的问题,促使水库工程项目的良好建设发展。但是目前不同类型的壤土均质坝扬尘治理技术在应用过程中效果存在差异,科学合理进行技术的选用势在必行,基于此,本文分析智能喷雾与海洋生物抑尘剂在壤土均质坝扬尘治理中的应用效果,提出技术应用的建议,为促使壤土均质坝扬尘治理工作水平的提升提供助力。
[关键词] 智能喷雾；海洋生物抑尘剂；壤土均质坝扬尘治理技术
中图分类号：TV443+.2　**文献标识码**：A

Research on the Dust Suppression Technology of Loam Homogeneous Embankment Based on Intelligent Spraying and Marine Biological Dust Suppressant

Maosheng Li　Chao Fang　Weihua Yang
SINOHYDRO BUREAU 9 CO., LTD
[Abstract] In recent years, dust control in reservoir engineering projects has received widespread attention. Scientific dust control can prevent environmental pollution and promote the good construction and development of reservoir engineering projects. However, at present, different types of loam homogenization dam dust control technologies have different effects in the application process, and scientific and reasonable technology selection is imperative. Based on this, this paper analyzes the application effect of intelligent spray and marine biological dust suppressant in the loam homogenization dam dust control, puts forward technical application suggestions, and provides assistance to promote the improvement of loam homogenization dam dust control work.
[Key words] intelligent spray; Marine biological dust suppressant; Dust control technology for homogeneous soil dam

壤土均质坝扬尘治理技术应用的过程中,需深入分析智能喷雾与海洋生物抑尘剂技术的情况,按照技术的应用效果、应用需求等,完善优化相关的技术体系,提升壤土均质坝扬尘治理的水平,保护生态环境,促使水库工程项目的良好建设发展。

1 工程概况

本次工程项目是依托青岛市官路水库工程围坝工程3标段项目,基本情况如表1所示,当前国家开始重点关注生态环境保护,强调科学进行环境污染的治理。本次工程项目主要是进行现场扬尘治理,由于土方施工量较高,涉及面很广,所以需加大扬尘治理的力度,提升环境保护水平。

表1 项目的基本情况

项目内容	基本情况
围坝桩号	4+000～7+000
坝顶高程	31.70m
防浪墙顶高程	32.50m
最大坝高	24.4m
围坝坝底宽	137m
围坝坝顶宽度	12.0m
土方填筑	570.24万m3

2 基于智能喷雾与海洋生物抑尘剂的壤土均质坝扬尘治理技术效果

2.1海洋生物抑尘剂技术

海洋生物抑尘剂技术是以浒苔等海藻为原料,提取改性形成多糖-蛋白质复合物在裸土表面形成三维网状结构,增强土壤抗风蚀能力,海洋提取物富含氨基酸、矿物质、生长素为草种子

提供养分,促进根系发育,加速绿植覆盖,实现从“结壳抑尘”到“生态固土”的转化,材料可降解无二次污染,适用于动态施工场景。而传统密目网技术是采用聚乙烯编织网覆盖裸土,利用网孔密度调节气流交换,减少扬尘扩散,易因风力、施工碾压破损,导致扬尘泄漏,长期暴晒后塑料老化碎裂,形成微塑料污染,频繁揭开覆盖易加剧扬尘,无法适应多工序交叉施工。为准确分析海洋生物抑尘剂技术的应用效果,本文进行相关的实验操作,按照现场堤防填筑施工情况、扬尘治理的区域,选取一段堤坡开展施工工作,实验开始之前研发小组选择设备,在晴朗天气且风力较低的环境中操作,安装扬尘监测装置并连接智慧建造监管平台,利用扬尘治理效果评估与数据分析系统进行试验期间的数据收集。实际实验过程中在现场布置海洋生物抑尘剂与传统密目网,工作人员每天对试验区域进行现场观测,查看密目网破损情况、海洋生物抑尘剂作用漏洞,实验完成后收集数据,如表2所示,与传统密目网覆盖相比,海洋生物抑尘剂对扬尘的治理效果较高,可提升土壤抗风沙侵蚀的性能,有助于后续进行植草护坡施工,但是成本较高,需要综合考量。

表2 海洋生物抑尘剂技术的扬尘治理数据

治理技术	扬尘治理效果	破损率	成本
海洋生物抑尘剂	第1天：98%	2%	4-8元/m²
	第15天：87%		
	第30天：72%		
密目网	第1天：85%	5%	1-5元/m²
	第15天：84%		
	第30天：79%		

2.2智能喷雾技术

智能喷雾杆技术主要采用高压泵将水加压至5-10MPa,利用特制喷头生成1-30μm超细水雾,借助高空布点形成立体雾幕,增强水雾与扬尘颗粒的碰撞概率,依托灯杆设施高空布点,旋转喷头实现360°无死角覆盖,单台设备有效净化范围达百万立方米,采用传感器联动智慧建造监管平台,按照PM2.5、风速等参数动态调整喷雾强度与频次,相比传统洒水车节水60%以上,且雾滴蒸发吸热兼具降温功能。而传统洒水车是利用车载高压水泵将水加压至2-4MPa,以大粒径水滴冲击地面湿润表层土壤抑制扬尘。为准确分析智能喷雾技术的应用效果,本次研究中开展相关的实验活动,按照现场机械设备的运行轨迹、围坝库区土壤堆放区域情况等,开展智能喷雾杆与传统洒水车扬尘治理的施工工作,实验之前研发小组人员进行设备的选型,安装智能喷雾杆并连接智慧建造监管平台,利用扬尘治理效果评估与数据分析系统进行试验期间的数据收集,如表3所示,与传统洒水车相比,智能喷雾杆治理扬尘的效果较高,成本较低,值得推广。

3 基于智能喷雾与海洋生物抑尘剂的壤土均质坝扬尘治理技术的应用措施

表3 智能喷雾技术的扬尘治理效果

治理技术	扬尘治理效果	成本
智能喷雾杆	第1天：95%	12-30万元
	第5天：94%	
	第10天：94%	
洒水车	第1天：94%	30-50万元
	第5天：87%	
	第10天：90%	

3.1海洋生物抑尘剂技术的应用措施

3.1.1技术原理

海洋生物抑尘剂以天然海洋生物提取物为核心,利用生物提取、生物降解、生理活性、生物安全性技术路径实现环保抑尘,与传统密目网相比在环保性、安全性、抑尘效率方面具有优势,但存在成本较高及气候敏感性等局限性。海洋生物抑尘剂是从海藻、真菌等海洋生物中提取多糖、多酚、蛋白质等活性成分,其中多糖经过分子链间氢键作用形成三维网状结构,吸附并固定扬尘颗粒,多酚类物质利用表面活性作用降低颗粒表面张力,增强黏附性。且抑尘剂中的多糖、多酚成分可在28天内被土壤微生物完全分解为水与二氧化碳,残留物可作为植物养分,pH调节功能可改善碱性土壤结构,促进植物根系发育,实现抑尘与生态修复的协同。

3.1.2技术的应用措施

生物抑制剂是新型绿色抑尘技术,能调节土壤物理、化学、生物活性实现扬尘治理与生态修复协同,实际应用过程中需重视土壤物理性质改良利用生物抑制剂中的多糖类物质,经过亲水基团(-OH、-COOH)与水分子形成氢键网络,提升土壤持水能力,多糖与土壤颗粒形成三维网状结构,增加土壤大孔隙(>0.1mm)比例,改善通气性与透水性,生物膜的黏附作用使土壤颗粒间结合力增强,抗剪强度提升至0.8-1.2MPa,有效抵御6级风力侵蚀。且土壤化学性质调控过程中,利用生物抑制剂中的腐殖酸类物质借助离子交换作用调节土壤酸碱度,在pH8.5的碱性土壤中添加1%生物抑制剂,30天内pH可稳定至7.0-7.5,为微生物活动提供适宜环境,采用多酚类物质与土壤中的Ca^{2+}、Mg^{2+}形成螯合物,减少养分流失问题,使用生物抑制剂中的羧基(-COOH)与重金属离子(如Pb^{2+}、Cd^{2+})形成稳定络合物,降低其生物有效性。而土壤生物活性平衡方面,则是利用生物抑制剂中的氨基酸、维生素等成分促进有益微生物繁殖,使土壤微生物含量从120mg/kg提升至210mg/kg,增强土壤生态功能,采用多酚类物质破坏病原菌细胞膜实现抑菌作用,对镰刀菌、立枯丝核菌等土传病原菌的抑制率达70%-85%,借助生物抑制剂激活植物系统获得性抗性(SAR),诱导产生几丁质酶、β-1,3-葡聚糖酶等防御蛋白,降低蛴螬、地老虎等地下害虫危害率30%-40%。

在采用生物抑制剂技术的过程中需要注意,施工之前需利

用土壤取样分析含水量、pH值、有机质含量、微生物活性等12项指标,建立土壤健康档案,按照诊断结果调整生物抑制剂组分比例,施工过程中采用高压雾化喷洒车(压力2-3MPa,喷头孔径0.3mm),使抑尘剂形成50-100μm液滴,提高吸附效率,按照土壤质地调整用量,砂质土2.5L/m²,黏质土1.8L/m²,避免过量导致板结,喷洒后覆盖防雨布24小时,促进生物膜形成；定期监测土壤含水量,干旱时补充灌溉。同时设置扬尘浓度(PM10)、土壤含水量、微生物活性等监测点,数据实时上传至智慧建造平台,基于监测数据优化喷洒频次,每季度补充喷洒0.5%浓度的生物抑制剂,维持土壤生态功能。另外,研发耐高温(>40℃)、耐低温(-10℃)的生物抑制剂,延长有效作用期,规模化生产与废弃物资源化利用降低单位成本至8元/m²以下,结合物联网技术实现生物抑制剂喷洒的精准化与自动化控制。

3.2智能喷雾杆技术的应用措施

3.2.1技术原理

智能喷雾杆技术利用集成环境感知、智能决策与精准执行模块实现施工区域扬尘治理的动态化调控,智能喷雾杆搭载PM2.5/PM10传感器(量程0-1000μg/m³,精度±5%)、温湿度传感器(湿度0-100%RH,精度±2%RH)及风速风向传感器(量程0-30m/s,精度±0.5m/s),构建三维环境监测网络,数据利用LoRa无线模块传输至边缘计算节点实现毫秒级响应。且基于模糊PID控制算法方面,主要按照环境参数动态调节喷雾参数,PM10浓度>150μg/m³且湿度<40%启动高频喷雾模式,风速>6m/s自动调整喷雾角度至逆风方向,降低扬尘扩散风险。同时采用高压微雾喷头(压力7-10MPa),配合电磁流量控制阀,实现单杆喷雾量0.5-5L/min可调,实验数据显示相比传统洒水车,智能喷雾杆节水率达65%,能耗降低40%[1]。

3.2.2技术的应用措施

智能喷雾杆技术采用多参数感知、智能决策与执行机构优化实现壤土均质坝扬尘治理的动态化与精准化调控,此期间为发挥智能喷雾杆技术的作用价值,需全面构建相关的技术体系,采用多参数感知技术,布置传感器矩阵,坝体表面每50m²布置1组传感器节点,集成PM2.5/PM10(量程0-1500μg/m³)、温湿度(量程-30℃~80℃)、风速风向(量程0-20m/s)传感器,在坝体填筑层埋设分布式光纤传感器,实时监测压实度(精度±1%)与含水量(精度±0.5%),每200m设置1台高清球机,结合AI图像识别技术,自动识别扬尘扩散区域,采用卡尔曼滤波算法对多源传感器数据进行融合,消除环境干扰,构建扬尘扩散模型,结合CFD数值模拟预测未来10分钟扬尘浓度分布。且需建设智能决策系统基于模糊PID控制动态调节喷雾参数,压实度<90%区域启动高频喷雾(频率20Hz,雾滴粒径40-60μm),提升扬尘吸附效率,压实度>95%区域切换至低频喷雾(频率8Hz,雾滴粒径80-120μm),避免过度湿润,风速>8m/s自动调整喷雾角度至逆风方向,扬尘抑制率提升40%,结合施工进度数据自动生成喷雾作业计划,减少无效作业,开发手机APP支持施工管理人员远程调整喷雾参数,设置紧急停机按钮应对传感器故障或极端天气。同时在执行机构优化过程中,需采用6轴机械臂(工作半径8m,重复定位精度±0.1mm),实现360°旋转喷雾覆盖,配备压力可调喷嘴(压力范围2-12MPa),动态调整喷洒压力与雾化粒径,喷嘴与机械臂采用快速连接接口支持单杆独立维护,降低停机时间,配备备用电源模块,市电中断时可持续运行4小时。另外,智能喷雾杆技术利用多参数感知、智能决策与执行机构优化,能提升壤土均质坝扬尘治理效率与资源利用率,未来需聚焦可靠性提升、成本优化与标准化建设促使其从试点应用向规模化推广迈进,助力绿色水利施工与生态文明协同发展[2]。

4 基于智能喷雾与海洋生物抑尘剂的壤土均质坝扬尘治理技术前景

4.1抑尘剂技术

目前抑尘剂技术的研究,主要是研发水基抑尘剂、乳化抑尘剂、抗冻抑尘剂,提升扬尘治理效果,改善环境友好性,且在技术研究的过程中,主要研发抑尘剂的控释技术,利用喷洒量与喷洒方式的控制,提升扬尘治理有效性,减少对环境的影响。

4.2智能喷雾技术

对于智能喷雾杆而言,应用的前景较为广阔,主要因为其具备一定的环保性能,除尘效果较高,尤其是在技术研发创新的过程中,应用领域开始扩展,主要集环保、降温、除尘于一体,采用大数据与物联网技术,提升智能化与精准化水平,为环境保护提供支持。同时智能喷雾杆技术还可以应用于公园绿地、广场、步行街等公共场所的降温除尘,或是高速公路、桥梁等交通设施的防雾除霾,农业灌溉、森林防火等领域发挥节水灌溉的作用,显示出其广泛的应用前景[3]。

5 结语

综上所述,基于智能喷雾与海洋生物抑尘剂的壤土均质坝扬尘治理技术方面,智能喷雾技术对扬尘的治理效果较高,成本较低,具有一定的推广价值,且在未来发展的过程中,需重点采用智能喷雾与海洋生物抑尘剂,完善技术模式,提升扬尘治理水平,达到预期的目的。

[参考文献]

[1]王洁茹.海洋生物型固土抑尘剂的研制,性能表征及其在黄河滩区的应用研究[D].山东大学,2021.

[2]张绍先.智能风水联动喷雾系统在马头洗选厂的应用[J].选煤技术,2020,2(1):4-7.

[3]温继伟,曾现恩,张营旭,等.施工扬尘喷雾控制技术研究及应用进展[J].施工技术(中英文),2023,52(4):54-61.