

# 边坡防护设计中边坡防护技术的综合运用

孙超

天津市政工程设计研究总院有限公司

DOI:10.32629/etd.v6i12.19236

**[摘要]** 在边坡防护设计中,边坡防护技术的综合运用至关重要。需结合地质条件、环境因素及工程需求,灵活选择刚性防护(如挡土墙、抗滑桩)、柔性防护(如主动防护网)、生态防护(如植被恢复、生态袋)及综合型技术(如工程-生态协同防护)。通过多技术协同,实现边坡稳定性、生态性与经济性的平衡,有效应对滑坡、崩塌等灾害,保障工程安全与可持续发展。

**[关键词]** 边坡防护设计; 边坡防护技术; 综合运用

**中图分类号:** U416.1 **文献标识码:** A

## Comprehensive Application of Slope Protection Technologies in Slope Protection Design

Chao Sun

Tianjin Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd.

**[Abstract]** In slope protection design, the comprehensive application of slope protection technologies is of vital importance. It is necessary to flexibly select rigid protection (such as retaining walls, anti-slide piles), flexible protection (such as active protection nets), ecological protection (such as vegetation restoration, ecological bags), and comprehensive technologies (such as engineering-ecological collaborative protection) based on geological conditions, environmental factors, and engineering requirements. Through multi-technology collaboration, the balance of slope stability, ecology, and economy is achieved, effectively addressing disasters such as landslides and collapses, and ensuring engineering safety and sustainable development.

**[Key words]** slope protection design; slope protection technology; comprehensive application

### 引言

在基础设施大规模建设的当下,边坡作为工程与自然环境的交界地带,其稳定性至关重要。复杂的地质条件、多变的气候环境以及人类活动的影响,使得边坡失稳现象频发,给工程安全与生态平衡带来巨大挑战。单一防护技术往往难以应对这些复杂问题,综合运用多种边坡防护技术,充分发挥不同技术的优势,成为保障边坡安全、实现生态可持续发展的关键所在。

### 1 边坡防护技术分类与特性分析

#### 1.1 工程防护技术

(1) 刚性防护: 核心特性为承载能力强、稳定性高,能直接抵御边坡岩土体滑移或坍塌,适用于地质条件复杂、边坡稳定性极差的区域。主要形式包括挡土墙、抗滑桩、锚杆(索)框架梁等,其中抗滑桩对深层滑动体防控效果显著,锚杆(索)框架梁可有效约束岩土体变形。(2) 柔性防护: 以柔性缓冲、分散受力为核心优势,适应性强,能与边坡地形良好贴合,对局部落石、浅层溜滑防控效果突出。主要类型有主动防护网、被动防护网、土工格栅等,主动防护网可主动约束岩土体,被动防护网用于拦截落石,土工格栅则能增强边坡土体整体性。

#### 1.2 生态防护技术

(1) 植被恢复: 兼具防护与生态修复双重功能,通过构建植被根系网络固土固坡,同时改善区域生态环境。关键技术包括液压喷播、三维植被网、植生袋等,液压喷播适用于大面积边坡快速绿化,三维植被网可提升植被成活率,植生袋便于陡峭边坡施工。(2) 复合生态材料: 融合材料力学性能与生态兼容性,兼顾防护稳定性与生态效益。主要有生态袋、植生混凝土等,生态袋具有抗侵蚀、透气透水特性,植生混凝土可在满足强度要求的同时为植被生长提供条件,适用于岩质或半岩质边坡生态修复<sup>[1]</sup>。

#### 1.3 综合型防护技术

(1) 工程-生态协同防护: 整合工程防护的稳定性与生态防护的可持续性,通过技术组合实现优势互补,典型形式如格构梁+植被恢复,格构梁提供基础稳定支撑,植被恢复实现长期生态固坡,适用于地质条件复杂且对生态要求较高的边坡。(2) 新型技术: 依托科技赋能提升防护智能化、精准化水平,包括3D打印边坡加固结构、智能监测与预警系统等。3D打印可实现复杂加固结构快速成型,智能监测系统能实时捕捉边坡变形数据并预警,适用于特殊地形或高风险边坡防护。

#### 1.4 技术对比与适用性分析

(1)地质条件适配: 土质边坡优先选用柔性防护、生态防护或土工格栅等; 岩质边坡侧重刚性防护或复合生态材料; 软岩边坡需结合抗滑桩与协同防护技术, 避免岩土体蠕变破坏。(2)环境与形态适配: 陡坡、高边坡优先组合工程与协同防护技术; 缓坡可采用生态防护为主; 干旱、寒冷等极端气候区需选用耐旱、耐寒植被或耐候性强的工程材料, 确保防护效果长期稳定。

### 2 边坡防护设计的核心原则与流程

#### 2.1 设计基本原则

(1)安全性原则: 作为设计首要准则, 需重点保障边坡抗滑移、抗倾覆能力, 同时兼顾防护结构的耐久性。设计中需结合地质条件精准计算荷载承载力, 选用抗腐蚀、抗风化的材料, 确保防护体系在长期使用中稳定可靠, 有效规避边坡坍塌、落石等安全风险。(2)生态性原则: 坚持与周边自然环境协同共生, 避免防护工程对生态系统造成二次破坏。设计需优先选用生态友好型技术与材料, 充分考虑植被生长条件, 使防护结构与周边地形、植被风貌相协调, 实现防护功能与生态修复的双重目标<sup>[2]</sup>。(3)经济性原则: 统筹兼顾初始建设成本与长期维护成本, 实现成本优化平衡。在满足防护要求的前提下, 合理选型材料与技术, 避免过度设计; 同时预判后期养护需求, 选用易维护、寿命长的方案, 降低全生命周期成本。

#### 2.2 综合设计流程

(1)边坡稳定性评估: 作为设计基础, 需通过实地地质勘察明确岩土体类型、结构面特征、地下水分布等核心参数, 再结合数值模拟分析等技术手段, 精准判定边坡稳定等级, 识别潜在失稳风险, 为后续设计提供科学依据。(2)防护技术选型与组合方案设计: 基于稳定性评估结果, 结合设计原则筛选适配的防护技术, 必要时采用多技术组合方案。设计中需明确各技术的应用范围与衔接方式, 确保方案既满足安全与生态要求, 又具备实操性。(3)动态调整与优化: 结合施工可行性、材料供应时效性等实际条件对方案进行动态优化。针对施工中发现的地质异常、材料运输难题等问题, 及时调整防护结构参数或技术类型, 保障设计方案落地可行。

#### 2.3 关键设计参数

(1)工程参数: 直接决定防护结构的承载性能, 核心包括防护结构尺寸(如挡土墙高度、格构梁间距)、构件间距、锚固深度等。参数设计需严格依据地质荷载计算结果, 确保满足抗滑移、抗倾覆的安全要求, 同时适配边坡地形特征。(2)生态参数: 影响生态防护的效果与持久性, 主要涵盖植被种类选择(需适配当地气候与土壤条件)、种植密度(保障植被覆盖度与生长空间)、养护周期(明确前期浇水、施肥、病虫害防治等关键节点), 确保植被能够健康生长, 充分发挥生态固坡作用。

### 3 边坡防护设计中边坡防护技术的综合运用策略

#### 3.1 技术组合模式

(1)“刚性支撑+柔性缓冲”模式: 该模式核心在于通过刚性结构保障边坡整体稳定性, 依托柔性材料缓冲局部冲击荷载,

形成“刚柔并济”的防护体系。典型应用为抗滑桩+主动防护网组合, 适用于高陡岩质边坡——抗滑桩深入坡体下部稳定岩层, 有效约束边坡整体滑移变形; 主动防护网覆盖坡体表层, 可拦截落石、抑制岩土体风化剥落, 同时兼具一定延展性, 能适应坡体微小变形, 避免刚性结构因局部受力集中而损坏。(2)“工程加固+生态修复”模式: 以工程措施筑牢边坡结构基础, 同步通过生态技术实现环境协同修复, 平衡安全防护与生态保护需求。代表组合为格构梁+液压喷播植被, 广泛适用于土质边坡生态恢复工程——格构梁通过锚固体系与坡体紧密结合, 划分坡体单元、分散坡面荷载, 防止边坡局部坍塌; 液压喷播技术将草籽、营养基质、粘结剂等混合喷布于坡面, 快速形成植被覆盖层, 借助植物根系的固土作用进一步增强边坡稳定性, 同时改善区域生态景观<sup>[3]</sup>。(3)“主动防护+智能监测”模式: 融合主动防护技术与智能感知手段, 实现边坡防护从“被动防御”向“主动预警”升级, 适用于动态变形边坡。例如锚杆框架梁+物联网位移传感器组合, 锚杆框架梁通过锚固力加固坡体岩土体, 抑制变形发展; 物联网位移传感器布设于坡体关键变形区域, 实时采集位移、沉降等数据, 经无线传输至控制中心, 一旦数据超出预警阈值, 立即触发警报, 为运维人员及时采取加固措施提供数据支撑, 降低边坡失稳风险。

#### 3.2 多技术协同作用机制

(1)力学协同: 核心是工程结构与生态植被在力学承载上的互补效应, 提升边坡整体抗失稳能力。一方面, 抗滑桩、格构梁等工程结构承担坡体大部分滑移荷载, 快速遏制大变形; 另一方面, 植被根系深入岩土体孔隙, 形成“根系-岩土”复合结构, 增强岩土体粘聚力和内摩擦角, 分担局部坡面荷载, 弥补工程结构在表层防护上的不足, 两者协同实现“整体稳定+表层加固”的双重目标。(2)功能协同: 各类技术在防护功能上相互补充, 形成防冲刷、防风化、美化环境的综合效应。工程结构如挡土墙可拦截坡面径流、防止雨水冲刷掏蚀坡脚; 柔性防护网和植被覆盖层能阻挡风沙侵蚀、减少岩土体风化; 生态植被还可调节局部微气候、净化空气, 与周边自然环境融为一体, 解决单一技术难以兼顾多重防护功能的问题<sup>[4]</sup>。

#### 3.3 施工工艺与质量控制要点

(1)不同技术组合的施工顺序与衔接方法: 施工顺序需遵循“先整体后局部、先深层后表层”原则, 确保各技术协同生效。例如“抗滑桩+主动防护网”组合, 需先完成抗滑桩的钻孔、钢筋笼安装、混凝土浇筑及养护, 待桩体达到设计强度后, 再进行主动防护网的锚杆钻孔、锚固、网片铺设与张拉固定; 衔接环节需重点检查抗滑桩顶部与防护网锚固点的连接可靠性, 避免出现防护断层。对于“格构梁+液压喷播”组合, 应先施工格构梁及锚固体系, 再清理坡面杂物, 确保喷播基面平整, 为植被生长创造条件<sup>[5]</sup>。(2)材料选择与施工参数控制: 材料选择需匹配技术特性与环境需求, 工程材料优先选用高强度、抗腐蚀的钢材、混凝土, 确保结构耐久性; 生态材料如草籽需选用适应当地气候、抗逆性强的乡土品种, 营养基质需满足植被生长养分需

求。施工参数控制核心包括: 锚杆锚固力需达到设计值的1.2倍以上, 通过现场拉拔试验验证; 植被覆盖率需在施工后6个月内达到85%以上, 定期监测植被生长状况并及时补播; 喷播厚度、格构梁混凝土强度等参数需严格遵循施工规范, 全程做好现场监理与质量抽检。

#### 4 边坡防护设计中边坡防护技术发展趋势与挑战

##### 4.1 新型材料与技术的应用

(1) 高性能材料革新升级: 纳米材料改性混凝土、自修复防护结构成为研发与应用热点。纳米材料的掺入可显著提升混凝土的强度、抗腐蚀性及抗渗性, 延长防护结构使用寿命, 适配复杂恶劣环境下的边坡防护需求; 自修复防护结构借助内置修复剂或微生物载体, 能自动感知并修复结构微小裂缝, 减少后期维护工作量, 降低全生命周期成本, 尤其适用于偏远区域边坡的长效防护。(2) 智能监测技术普及应用: 无人机巡查与AI图像识别技术逐步融入边坡监测体系。无人机可快速覆盖大范围、高陡难达的边坡区域, 搭载高清摄像头和传感器获取坡面影像与数据; 结合AI图像识别技术, 能自动识别坡面裂缝、落石、植被枯萎等异常情况, 实现监测数据的智能化分析与预警, 替代传统人工巡查的低效与高危模式, 提升监测的精准度与时效性。

##### 4.2 绿色低碳防护理念

(1) 低碳技术与材料推广: 可降解材料、低能耗施工工艺得到广泛关注与应用。可降解土工材料、生态友好型粘结剂等替代传统高污染材料, 减少工程对生态环境的负面影响; 低能耗施工工艺如小型化机械施工、干法作业等, 降低施工过程中的能源消耗与碳排放, 契合绿色工程建设要求。(2) 碳足迹评估融入设计: 将碳足迹评估纳入边坡防护设计全流程, 通过量化防护材料生产、施工、运维等各环节的碳排放量, 优化设计方案。在满足安全防护要求的前提下, 优先选用低碳材料与节能技术, 实现防护功能与低碳目标的协同, 推动边坡防护工程向绿色可持续发展方向。

##### 4.3 面临的挑战与对策

(1) 复杂地质条件下的技术适配性挑战: 极端地形、复合型地质(如软硬岩交互、岩溶发育区)对防护技术的适配性提出更高要求, 单一技术难以保障防护效果。对策为加强地质勘察精度, 采用多技术融合的定制化方案, 结合数值模拟技术预判不同技术的适配效果, 同时开展针对性的试验研究, 提升技术在复杂地质条件下的适用性。(2) 长期耐久性与维护成本平衡挑战: 部分新型防护技术长期耐久性缺乏实践验证, 且偏远区域边坡维护难度大、成本高, 难以实现长效稳定防护。对策为建立防护结构全生命周期监测体系, 结合智能监测数据精准开展维护作业, 降低盲目维护成本; 同时加强新型材料与技术的长期性能试验, 优化材料配方与结构设计, 提升防护体系的耐久性, 实现长期防护效果与维护成本的平衡。

#### 5 结束语

边坡防护技术的综合运用是保障工程安全、促进生态修复与可持续发展的关键路径。通过融合工程防护的稳定性、生态修复的环境友好性及智能监测的精准预警性, 可构建多层次、全周期的防护体系。未来, 随着新型材料、智能技术与绿色理念的深化应用, 边坡防护将向更高效、低碳、智能的方向演进。持续优化技术组合模式、突破复杂地质适配难题, 仍是推动行业高质量发展的核心方向, 为全球地质灾害防治提供中国方案。

#### [参考文献]

- [1] 陈兴平. 基于环保理念的公路路基设计方法研究[J]. 建筑技术开发, 2020, 46(3): 28-29.
- [2] 杨发顺, 许诚, 马国亮. 公路路基边坡防护设计[J]. 交通世界, 2020, (30): 54-55.
- [3] 蔺青青. 边坡防护技术在公路路基设计中的应用研究[J]. 工程建设与设计, 2023, (3): 122-124.
- [4] 王立民. 公路路基设计中边坡防护技术分析[J]. 北方建筑, 2022, 7(5): 19-22.
- [5] 马建国. 公路路基设计中边坡防护技术的应用[J]. 交通世界, 2022, (14): 108-110.