

水利水渠的边坡加固技术与施工应用

赵参准

河南水建集团有限公司 河南 郑州 450000

摘要: 水利水渠边坡加固对保障工程安全意义重大。本文先阐述边坡加固技术分类与原理,包括抗滑结构、锚固、减载与排水技术;接着介绍施工工艺与关键控制点;再分析技术选择与工程适配性;最后探讨施工管理与技术创新方向,涵盖施工过程管控、新型材料应用、数字化施工发展。通过全面研究,为水利水渠边坡加固提供理论与实践参考。

关键词: 水利水渠; 边坡加固技术; 施工工艺; 技术适配性; 施工管理创新

引言: 水利水渠作为重要的水利基础设施,其边坡稳定性直接关系到工程安全与运行效益。在自然因素与人为活动影响下,边坡易出现失稳问题,引发滑坡等灾害,造成严重损失。因此,开展水利水渠边坡加固技术研究至关重要。通过合理选择加固技术、优化施工工艺、加强施工管理,可有效提升边坡稳定性,保障水利水渠工程安全,为经济社会可持续发展提供有力支撑。

1 边坡加固技术分类与原理

1.1 抗滑结构技术

1.1.1 混凝土抗滑桩

混凝土抗滑桩是边坡加固中应用广泛的技术手段。其工作原理基于桩体与滑动力之间的抵消机制。当边坡存在滑动趋势时,抗滑桩深入稳定土层,通过桩身与周围土体的相互作用,承受滑坡体传递的滑动力^[1]。桩体依靠自身强度和刚度,将滑动力传递至下部稳定地层,从而阻止边坡进一步滑动。这种技术尤其适用于浅层至中层滑坡治理场景。在浅层滑坡中,抗滑桩能有效控制坡体表层土体的滑动;对于中层滑坡,合理布置的抗滑桩可深入滑动面以下稳定岩土体,增强边坡整体稳定性。

1.1.2 混凝土沉井

混凝土沉井通过框架结构与抗滑桩协同作用实现边坡加固,适用于滑动深度10-30米的深层滑坡治理。框架结构为沉井提供整体稳定性,抗滑桩则增强其抗滑能力。结构参数设计方面,井壁厚度是关键因素之一,通常控制在0.8-1.5米,较厚的井壁能更好地承受土体侧压力和滑动力,保证沉井在施工和使用过程中的结构安全。横隔梁配置也至关重要,合理的横隔梁间距和尺寸可增强沉井的整体刚度,提高其抵抗变形的能力,使沉井在复杂地质条件下仍能保持稳定。

1.1.3 混凝土挡墙

混凝土挡墙通过局部受力平衡调整原理实现边坡加固。挡墙依靠自身重量和结构强度,抵抗边坡土体的侧

向压力,调整坡体受力状态,使边坡达到稳定状态。在挡墙设计中,排水系统集成设计必不可少。良好的排水系统可及时排除挡墙后土体中的积水,降低土体含水量,减小土体侧向压力,防止因水压力作用导致挡墙失稳,确保挡墙长期稳定运行。

1.2 锚固技术

1.2.1 预应力锚索

预应力锚索通过内锚头胶结材料与外锚头结构共同作用实现边坡加固。内锚头胶结材料选择纯水泥浆或砂浆,其粘结性能直接影响锚索与基岩的锚固效果。优质胶结材料可确保锚索与基岩紧密结合,有效传递预应力。外锚头结构与基岩接触压应力控制是关键环节,合理的压应力可保证外锚头与基岩充分接触,提高锚固系统的整体稳定性,防止因接触不良导致锚索松动。

1.2.2 土钉墙

土钉墙通过优化土体与锚杆界面粘结强度实现边坡加固。在施工过程中,严格控制施工角度与深度参数。合适的施工角度可使锚杆与土体充分接触,提高界面粘结力;合理的深度能确保锚杆深入稳定土层,增强土钉墙的整体稳定性。

1.2.3 锚固洞

锚固洞通过倾斜度设计与混凝土结合强化实现边坡加固。合理的倾斜度设计可使锚固洞更好地适应边坡地质条件,增强与周围土体的相互作用。混凝土与锚固洞的紧密结合可提高结构的整体强度和抗剪力,洞-桩组合结构通过协同作用,进一步提升抗剪力,有效阻止边坡滑动。

1.3 减载与排水技术

1.3.1 减载反压法

减载反压法通过滑坡体后缘覆盖层削减策略实现边坡加固。削减后缘覆盖层可降低滑坡体的下滑力,减轻边坡负担。压坡材料选择与压实度控制是重要环节。选

择合适的压坡材料，如块石、碎石等，可保证压坡体的稳定性；严格控制压实度，可提高压坡体的密实度，增强其抗滑能力，防止压坡体沉降变形。

1.3.2 综合排水系统

综合排水系统通过地表截水沟与地下排水洞协同布局实现边坡加固。地表截水沟可拦截坡面雨水，防止雨水冲刷坡面和渗入坡体；地下排水洞可排除坡体内部地下水，降低地下水位，减小水对边坡稳定性的影响。排水孔间距与深度参数设计需根据边坡地质条件和水文特征确定，合理的参数可保证排水系统有效运行，提高边坡稳定性。

2 施工工艺与关键控制点

2.1 抗滑结构施工

2.1.1 抗滑桩施工流程

抗滑桩施工起始于开挖支护环节。开挖过程中，为保障边坡稳定及施工安全，需及时进行支护作业。喷混凝土是一种常用支护方式，通过高压喷射设备将混凝土均匀喷射至开挖面，形成一层保护壳，增强岩土体整体性，防止开挖面坍塌^[2]。锚杆挂网则是在开挖面钻孔安装锚杆，再铺设钢筋网并与锚杆连接固定，进一步提升支护效果。完成开挖支护后，进入钢筋绑扎与混凝土浇筑阶段。钢筋绑扎需严格按照设计要求进行，确保钢筋数量、规格、间距等符合标准，以提供足够的结构强度。混凝土浇筑采用分层振捣方式，每层浇筑厚度需控制在合理范围内，振捣棒插入下层混凝土一定深度，保证上下层混凝土紧密结合，避免出现蜂窝麻面等质量缺陷，确保抗滑桩结构密实。

2.1.2 沉井施工阶段

沉井施工前，场地平整是首要任务。平整的场地能为沉井制作提供稳定基础，确保沉井制作精度。沉井制作过程中，要严格控制尺寸偏差，保证沉井几何形状准确，满足设计要求。下沉过程中，垂直度监测至关重要。通过在沉井顶部设置观测点，利用经纬仪等测量仪器定期观测沉井垂直度变化，一旦发现偏移及时采取纠偏措施，如调整沉井内除土位置、在偏移方向一侧施加外力等，确保沉井垂直下沉，避免因倾斜影响沉井稳定性和使用功能。

2.2 锚固施工要点

2.2.1 钻孔质量控制

钻孔质量直接影响锚固效果。水平偏差与方位偏差需控制在允许范围内，过大的偏差会导致锚索无法准确安装至设计位置，降低锚固力传递效率。孔壁清理与垃圾物排除同样关键，钻孔完成后，采用高压风或水冲洗

孔壁，清除孔内岩屑、泥浆等杂物，保证孔壁清洁，为锚索安装和胶结材料填充创造良好条件。

2.2.2 锚索张拉工艺

锚索张拉采用分组单根张拉法。操作时，按照一定顺序对锚索进行分组，再对每组内单根锚索依次张拉。张拉过程中，密切监测锚索受力均匀性，通过在锚索上安装应力传感器等设备，实时获取锚索受力数据。若发现受力不均，及时调整张拉力大小，确保每根锚索都能充分发挥锚固作用，提高锚固系统整体稳定性。

2.3 排水系统实施

2.3.1 排水洞施工

排水洞施工时，距滑动面深度需精准控制，一般控制在五至十米。此深度范围既能有效排除滑动面附近地下水，又可避免对滑动面造成破坏。洞内排水孔布置需合理确定密度与角度，排水孔密度根据地下水量大小确定，角度则根据地下水流向和排水洞走向调整，保证排水孔能充分引流地下水，降低地下水位。排水孔密度一般控制在每平方米1-2个，角度根据实际情况调整在30° - 60°之间。

2.3.2 地表排水设施

地表排水设施中，拦水沟与排水沟坡度设计需根据地形和排水量确定。合适的坡度能保证水流顺畅排出，避免积水^[3]。裂缝封堵材料选择需考虑裂缝性质和周边环境，黄土和废碴在一定条件下可作为封堵材料，但需进行适当处理，如黄土需加水拌和至合适湿度，废碴需筛选去除过大颗粒，确保封堵效果，防止地表水渗入坡体影响边坡稳定。

3 技术选择与工程适配性

3.1 地质条件适应性分析

在边坡加固工程中，针对不同地质条件选择适配技术是保障工程安全与稳定的关键。对于岩质边坡，由于岩石强度较高、结构面发育，采用锚固洞与抗滑桩组合应用的方式较为适宜。锚固洞可深入岩体内部，通过混凝土与岩体的紧密结合，增强岩体整体性，提高抗剪能力；抗滑桩则能直接承受滑坡推力，将力传递至下部稳定岩层。二者协同作用，有效抵御岩质边坡可能出现的滑动破坏。土质边坡具有土体松散、抗剪强度低的特点。土钉墙与减载反压法协同使用可发挥良好效果。土钉墙通过在土体中设置土钉，利用土钉与土体的摩擦力，增强土体自身稳定性；减载反压法通过削减滑坡体后缘土体，并在前缘进行压载，调整土体应力分布，降低下滑力。二者配合，从增强土体强度和调整应力状态两方面入手，保障土质边坡稳定。软土地基含水量高、压缩性

大、强度低。土工格栅加固与排水强化技术是应对软土地基边坡问题的有效手段。土工格栅具有较高的抗拉强度,铺设在软土中可约束土体变形,提高土体整体性;强化排水可降低软土含水量,减少孔隙水压力,提高土体有效应力,进而增强软土地基边坡稳定性。

3.2 工程规模匹配原则

工程规模不同,适用的加固技术也存在差异。中小型边坡规模相对较小,采用锚固支护技术优先。锚固支护施工灵活、成本较低,可根据边坡具体情况选择锚杆、锚索等不同形式,有效提高中小型边坡稳定性,满足工程安全要求。大型深挖方工程规模大、边坡高陡,对加固技术要求较高。抗滑桩与混凝土框架结合的方式能提供强大的抗滑能力。抗滑桩深入稳定地层,承受滑坡推力;混凝土框架将抗滑桩连接成整体,增强结构整体性,共同抵御大型深挖方工程边坡可能出现的滑动,保障工程安全。高危边坡存在失稳风险高、危害大等特点。预应力锚索与智能监测系统联动可实现对高危边坡的动态加固与实时监测^[4]。

4 施工管理与技术创新方向

4.1 施工过程管控要点

在水利水渠边坡加固工程中,施工过程管控是保障工程质量与安全的核心环节。针对钻孔环节,需建立全流程实时监测系统,通过集成高精度传感器与数据传输模块,对钻孔深度、直径及偏斜度进行动态追踪。该系统通过无线传输技术将数据反馈至控制终端,施工人员可依据实时参数调整钻进方向与速度,避免因孔位偏差导致锚固力失效。锚索张拉作业环节,需制定分级防护标准,在张拉平台设置可调节式防护栏,并配备智能限位装置,当张拉力接近设计值时自动触发警报系统。同时,施工人员需佩戴具备力反馈功能的智能安全带,通过传感器监测作业姿态,预防因操作失误引发的安全事故。混凝土性能调控方面,需建立基于环境温湿度的动态调整机制,通过在拌合站安装温湿度传感器,结合材料特性数据库,自动调整外加剂掺量与拌合时间,确保混凝土在极端气候条件下的工作性能与耐久性。

4.2 新型材料应用趋势

随着边坡加固工程对材料性能要求不断提高,高强度预应力钢绞线研发成为重点方向。通过优化钢材成分与生产工艺,提升钢绞线抗拉强度与韧性,使其在承受更大预应力时,依然能保持良好稳定性,有效增强锚固结构承载能力,适应更复杂地质条件与更高安全标准工程需求。耐久性锚固胶结材料改进也至关重要。传统胶结材料在长期使用过程中,易受环境因素影响出现性能

退化。新型耐久性锚固胶结材料通过引入特殊添加剂与改进配方,提高材料抗腐蚀、抗老化能力,延长锚固结构使用寿命,减少后期维护成本。智能监测传感器集成技术为边坡加固工程监测带来新变革。将多种类型传感器集成于一体,可同时监测边坡位移、应力、应变等多项参数,实现数据全面采集与实时传输。通过对这些数据的综合分析,能更精准掌握边坡状态变化,为工程安全评估与决策提供有力依据。

4.3 数字化施工发展方向

BIM技术在边坡加固中的建模应用日益广泛。通过构建三维数字化模型,将边坡地形、地质结构、加固结构等信息直观呈现,方便施工人员进行方案优化与碰撞检查,提前发现并解决潜在问题,提高施工效率与质量。无人机巡检与位移监测数据融合为边坡监测提供新手段。无人机可快速获取边坡大面积影像数据,结合高精度位移监测设备采集的数据,通过图像处理与数据分析技术,实现对边坡表面变形情况全面监测,及时发现细微变形迹象,为滑坡预警提供更丰富信息。基于机器学习的滑坡预警模型构建是数字化施工重要发展方向^[5]。利用大量历史滑坡数据与实时监测数据,训练机器学习模型,使其能够自动识别滑坡发生前兆特征,准确预测滑坡发生时间与位置,为采取应急措施争取宝贵时间,有效保障边坡加固工程安全。

结束语

水利水渠边坡加固是一项复杂且系统的工程。从技术选择到施工应用,再到施工管理与创新,每个环节都紧密相连、相互影响。合理运用各类加固技术,严格控制施工工艺关键点,依据地质条件与工程规模精准适配技术,并积极推进施工管理与技术创新,能有效提升边坡加固工程质量与安全性。通过不断探索与实践,可进一步完善边坡加固技术体系,为水利水渠工程建设与维护提供坚实保障,确保长期稳定运行。

参考文献

- [1]于阳.水库膨胀土高边坡滑坡失稳锚杆加固措施[J].黑龙江水利科技,2025,53(8):142-145.
- [2]杨海红.水利工程渠道施工中的衬砌混凝土技术研究[J].水上安全,2025(8):157-159.
- [3]马占龙.水利水电工程施工中的高边坡加固技术[J].建筑工程技术与设计,2021(19):1615.
- [4]齐超.水利水电工程施工中的高边坡加固技术[J].建筑工程技术与设计,2021(22):1530.
- [5]朱建国.水利水电工程施工中的高边坡加固技术[J].建筑工程技术与设计,2021(20):189.