

土木工程施工中的边坡支护技术

张扣娃

天津明德建设工程有限公司 天津 300450

摘要：文章聚焦土木工程施工中的边坡支护技术。先分析边坡失稳机理，指出地质、地形、水文等因素致失稳，明确支护技术提升抗滑力、控制变形等目标。接着分类介绍刚性、柔性、复合及新型支护技术并分析适用性。随后阐述施工关键点，涵盖施工前准备、过程控制及质量监测验收。最后探讨技术发展趋势，强调绿色化、智能化及标准化规范化，为边坡支护工程提供全面指导。

关键词：边坡支护；土木工程；稳定性分析；施工技术

1 边坡失稳机理与支护需求分析

1.1 边坡失稳的主要因素

边坡失稳是多因素综合作用的结果，地质条件是核心基础。岩土体性质直接决定边坡稳定性，黏性土边坡易因含水量变化产生蠕变，砂性土边坡常因颗粒间黏聚力不足发生滑移，岩体边坡则受节理裂隙发育程度控制，裂隙贯通易形成滑动面。地形地貌因素不可忽视，边坡坡角越大、坡高越高，重力势能越大，失稳风险呈指数级上升，缓坡向陡坡过渡区域易因应力集中引发破坏。水文条件是重要诱发因素，雨水入渗会降低岩土体抗剪强度，地下水位上升产生的浮托力会抵消部分抗滑力，季节性暴雨常成为失稳突发的直接诱因^[1]。工程活动影响显著，开挖作业会破坏原边坡应力平衡，坡脚开挖导致抗滑段长度缩短，坡顶堆载增加下滑力，施工振动则可能加剧岩土体裂隙扩展。长期风化作用会弱化岩土体力学性能，温度变化引发的冻融循环会破坏岩土体结构完整性，这些因素共同作用导致边坡失稳。

1.2 支护技术核心目标

边坡支护技术的核心目标是通过主动干预与被动防护相结合的方式，实现边坡长期稳定，保障周边环境安全。首要目标是提升边坡抗滑能力，通过增强岩土体自身强度或施加外部约束力，平衡边坡内部下滑力与抗滑力，阻止滑动面形成或扩展，避免整体滑移、坍塌等失稳事故发生。其次是控制边坡变形发展，通过支护结构限制岩土体的蠕变、沉降等变形量，将变形控制在允许范围内，防止变形累积导致结构开裂或功能失效，确保边坡上构筑物及周边管线、道路等设施正常使用。再者是保障施工与运营安全，在施工阶段为作业面提供临时防护，避免施工过程中出现溜塌、落石等风险，运营阶段形成长效防护体系，抵御自然环境变化及外部荷载扰动带来的安全隐患。

2 边坡支护技术分类与适用性分析

2.1 刚性支护技术

刚性支护技术以混凝土、钢筋混凝土等刚性材料为核心，通过结构自身刚度抵御边坡荷载，具有承载能力强、变形控制严格的特点。常见形式包括挡土墙、抗滑桩、桩板墙等，挡土墙依靠墙体自重或基底嵌固作用平衡边坡土压力，适用于坡高较小、坡体土质均匀的场地，在公路边坡、厂区边坡等场景中广泛应用。抗滑桩通过桩体嵌入稳定岩层，利用桩身抗剪与抗弯性能阻止坡体滑动，单桩承载力大，适用于深层滑动面的边坡治理，尤其在岩体破碎、坡高较大的山区边坡中效果显著。桩板墙结合抗滑桩与挡土板优势，形成连续支护结构，既能承受集中荷载，又能拦截表层溜塌土体，适用于坡体表层松散、深层存在滑动风险的复合边坡。该技术缺点是施工周期较长，对施工场地要求较高，需进行大规模开挖，在地质条件复杂或周边建筑物密集区域应用时，需充分考虑对周边环境的影响，同时要做好混凝土养护工作，确保结构强度达标。

2.2 柔性支护技术

柔性支护技术采用钢丝绳、土工合成材料等柔性材料，通过柔性变形吸收边坡能量，实现“以柔克刚”的支护效果，具有施工便捷、适应性强的特点。主要形式有主动防护网、被动防护网、土工格栅加筋土等，主动防护网通过锚杆固定于坡体，对边坡进行全面覆盖，约束岩土体变形，防止落石与溜塌，适用于岩质边坡、风化严重的边坡及地质灾害易发区域，在山区公路、铁路边坡防护中应用广泛。被动防护网通过立柱与钢丝绳网组成拦截系统，吸收落石冲击能量，阻止灾害扩散，适用于坡体上方有危石、落石风险较高的场景。土工格栅加筋土通过格栅与土体的摩擦作用增强土体整体性，提高边坡抗滑稳定性，适用于填方边坡、软土地基边坡

等,施工速度快且对环境扰动小。该技术优势在于对地形适应性强,可贴合复杂边坡形态施工,减少开挖量,保护生态环境,但在承载能力要求极高或边坡变形量过大的场景中,需与其他技术结合使用。

2.3 复合支护技术

复合支护技术结合刚性与柔性支护的优势,针对复杂边坡地质条件形成协同支护体系,实现 $1+1 > 2$ 的支护效果,适用于地质条件多样、失稳风险多元的边坡治理。常见组合形式包括“抗滑桩+主动防护网”“挡土墙+土工格栅”“锚杆+喷射混凝土”等,“抗滑桩+主动防护网”组合中,抗滑桩承担深层滑动荷载,主动防护网拦截表层落石与松散土体,适用于深层有滑动面、表层风化破碎的岩体边坡,在山区大型边坡治理中应用广泛^[2]。“挡土墙+土工格栅”组合利用挡土墙提供基础抗滑能力,土工格栅增强填土整体性,减少墙体受力,适用于填方高度较大的边坡,如路基边坡、场地平整边坡等。“锚杆+喷射混凝土”通过锚杆深入稳定岩层提供锚固力,喷射混凝土封闭边坡表面防止风化,形成整体支护结构,适用于岩质边坡、基坑边坡等场景。该技术需根据边坡具体地质条件、坡高、坡角等参数优化组合方案,施工中需严格控制各分项工程衔接质量,确保协同作用发挥。

2.4 新型支护技术

新型支护技术依托材料创新与技术融合,呈现绿色化、高效化特点,为复杂边坡治理提供新解决方案。代表性技术包括微型桩群支护、自钻式锚杆支护、植被混凝土支护等,微型桩群由密集小直径桩组成,通过群桩效应抵抗边坡荷载,施工采用小型机械,对周边环境扰动小,适用于城市狭小场地、临近建筑物的边坡治理,具有施工速度快、对地基扰动小的优势。自钻式锚杆集钻进、注浆、锚固于一体,解决复杂地质条件下锚杆施工难题,在砂层、卵砾石层等易塌孔地层中效果显著,同时减少施工工序,提高施工效率。植被混凝土支护将混凝土与植物种子混合,既通过混凝土提供初期稳定,又通过植被生长形成长期生态防护,实现工程防护与生态修复结合,适用于公路、铁路边坡及矿山复绿工程。新型支护技术需结合工程实际开展试验验证,确保技术可靠性,同时关注材料耐久性与后期维护成本。

3 边坡支护施工关键技术要点

3.1 施工前准备

施工前准备是保障边坡支护工程质量与安全的基础,需从地质勘察、方案设计、资源配置等多方面系统开展。地质勘察需细化勘察范围与深度,采用钻探、物

探、原位测试等综合手段,查明边坡岩土体分布、物理力学性质、地下水赋存状态及潜在滑动面位置,绘制详细地质剖面图,为方案设计提供精准参数,对复杂地质区域需加密勘察点。方案设计需结合勘察结果,针对边坡类型、失稳风险制定专项方案,明确支护结构形式、尺寸参数及施工工艺,进行力学计算验证结构安全性,同时制定应急预案,防范施工中突发地质灾害。现场准备需清理坡顶及坡脚障碍物,平整施工场地,修建临时排水系统,防止雨水浸泡边坡引发失稳,划分作业区域与材料堆放区,确保施工秩序。资源配置需配备符合要求的施工机械,如钻机、挖掘机、混凝土搅拌机等,检查设备性能确保正常运行,组织专业施工团队,进行技术交底与安全培训,明确各岗位职责,同时备足合格原材料,做好材料进场检验工作。

3.2 施工过程控制

施工过程控制是保障支护工程质量的核心环节,需按工序细化管控要点,实现全过程质量与安全把控。基础施工阶段,挡土墙基坑开挖需按分层开挖原则进行,避免超挖,基坑成型后及时检测基底承载力,不符合要求时采取换填、夯实等处理措施;抗滑桩成孔需控制孔径、孔深及垂直度,采用泥浆护壁或干作业成孔工艺,根据地质条件选择合适方式,成孔后及时清孔并吊装钢筋笼,确保钢筋笼定位准确^[3]。结构施工阶段,混凝土浇筑需控制配合比与坍落度,采用分层浇筑、振捣密实,防止出现蜂窝、麻面等缺陷,锚杆施工需控制钻孔角度与深度,注浆时确保浆液饱满,压力符合设计要求,主动防护网安装需拉紧钢丝绳,锚杆锚固力需达到设计值。施工中需严格遵循“自上而下、分层施工”原则,避免坡体因开挖扰动失稳,同时做好临时防护,对已开挖坡面及时支护,遇暴雨、大风等恶劣天气需暂停施工,检查边坡稳定性。

3.3 质量监测与验收

质量监测与验收是验证支护工程效果的关键,需建立“施工中监测+竣工后验收+运营期监测”的全周期体系。施工中监测需设置位移监测点、应力监测点及地下水监测点,采用全站仪、测斜仪、应力计等设备,定期监测边坡顶部水平位移与垂直沉降、支护结构应力变化及地下水位动态,监测频率根据施工进度调整,开挖阶段加密监测,发现位移或应力超预警值时,立即停工并采取加固措施。竣工后验收需分阶段开展,分项工程完工后检查工序质量,如锚杆拉拔试验检测锚固力、混凝土强度试验检测结构强度,整体工程验收需核查施工记录、监测数据是否符合设计要求,检查支护结构外观质

量,有无裂缝、变形等缺陷,同时验收排水系统、防护网连接等细节部位。运营期监测需持续开展,建立长期监测台账,监测频率根据边坡稳定性等级确定,稳定边坡每季度监测一次,高风险边坡每月至少监测一次,通过长期监测掌握边坡变形规律,及时发现安全隐患并处置,确保支护工程长期有效。

4 边坡支护技术发展趋势

4.1 绿色化发展

绿色化发展成为边坡支护技术的核心趋势,强调工程防护与生态保护协同推进,实现环境友好型支护模式。核心方向包括生态材料研发、植被防护技术升级及施工工艺绿色化,生态材料方面,研发可降解土工合成材料、环保型混凝土等,减少传统材料对环境的污染,如采用工业废渣制备生态混凝土,既降低固废排放,又为植物生长提供载体。植被防护技术从单一草种喷播向“乔灌草”混播升级,结合边坡气候与土壤条件优化植物配置,提高植被覆盖率与存活率,形成稳定生态系统,同时采用生态袋、植生板等技术,加快边坡复绿速度,在矿山修复、公路边坡治理中广泛应用。施工工艺绿色化聚焦减少开挖与扰动,推广小型化、低噪声施工机械,采用定向钻进技术减少地表破坏,建立施工扬尘与废水处理系统,降低施工对周边生态环境的影响。绿色化发展还注重支护结构与周边景观融合,通过造型设计与植被搭配,使支护工程成为环境景观的一部分,实现工程价值与生态价值统一。

4.2 智能化应用

智能化应用推动边坡支护技术向精准化、高效化转型,通过信息技术与工程技术融合,实现全流程智能管控。施工阶段智能化体现在自动化施工设备应用与施工过程智能监控,自动化钻机可根据预设参数精准完成钻孔作业,减少人为操作误差,混凝土智能浇筑系统实时监测浇筑速度与振捣密实度,确保施工质量;基于物联网技术的施工监控系统,通过传感器实时采集施工数据,上传至云端平台实现远程监控,及时预警施工风险。监测阶段智能化实现从人工监测向自动监测升级,采用无人机航测、卫星遥感技术实现边坡大范围监测,结合光纤传感、雷达监测等技术,精准捕捉边坡微小变形,建立监测数据智能分析模型,通过大数据算法预测边坡稳定性趋势,提前预警失稳风险。设计阶段依托BIM

技术构建三维边坡模型,模拟支护结构受力状态与施工过程,优化设计方案,减少设计偏差,同时实现设计、施工、监测数据的协同共享,提升工程整体管控效率。

4.3 标准化与规范化

标准化与规范化是边坡支护技术高质量发展的保障,通过建立统一技术标准与管理体系,提升工程质量稳定性。标准体系建设聚焦细化技术参数与施工要求,针对不同地质条件、边坡类型制定专项技术标准,明确支护结构设计参数、材料性能指标、施工工艺要点及质量验收标准,如制定微型桩支护、植被混凝土支护等新型技术的专项规范,填补技术标准空白^[4]。施工规范化强调流程管控与质量追溯,建立“工序交底—过程检查—验收归档”的标准化流程,明确各工序质量控制点与验收标准,推行施工质量终身责任制,确保施工全过程可追溯。管理规范化注重资质管理与人员培训,严格施工企业资质审核,规范从业人员准入标准,定期开展技术培训与考核,提升施工人员专业素养与安全意识。另外,标准化与规范化还推动行业数据共享与经验积累,通过建立工程案例数据库,总结不同场景下的支护技术应用经验,为后续工程提供参考,促进全行业技术水平提升。

结束语

土木工程中的边坡支护技术对保障工程安全意义重大。从失稳机理分析到多样支护技术运用,再到施工要点把控与发展趋势展望,各环节紧密相连。未来,随着绿色化、智能化理念的深入以及标准化规范化的推进,边坡支护技术将不断创新完善。施工人员需紧跟趋势,提升技术水平,以更好地应对复杂边坡问题,推动土木工程行业高质量发展,为社会建设筑牢安全根基。

参考文献

- [1]曾梅.土木工程施工中边坡支护技术的应用[J].建材世界,2023,44(03):132-134.
- [2]卢俊廷.土木工程施工中边坡支护技术的作用与应用研究[J].散装水泥,2022(04):105-107.
- [3]余烽,张恩.土木工程施工中的边坡支护技术[J].建筑与装饰,2025(18):133-135.
- [4]黄俊杰.试析土木工程施工中的边坡支护技术[J].建材发展导向,2025,23(15):61-63.