

抗滑支护施工技术在水利工程中的应用研究

文 / 黄汉峰 潍坊市高崖水库运营维护中心

摘要: 抗滑支护技术是水利工程中保障边坡稳定性的关键技术。本文从新型抗滑支护结构、施工工艺创新和质量管理三个方面,探讨了其在水利工程中的应用。通过分析不同地质条件下支护方案的选型策略,研究新型抗滑支护结构的力学性能与适用性,总结智能化施工技术、绿色施工理念和新材料应用的优化方法,并提出基于BIM技术的质量管理体系、安全风险防控策略和全生命周期性能监测评估措施,为提升水利工程建设的科学性、安全性和可持续性提供借鉴。

关键词: 水利工程; 抗滑支护; 设计优化; 施工工艺; 质量安全

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.04.087

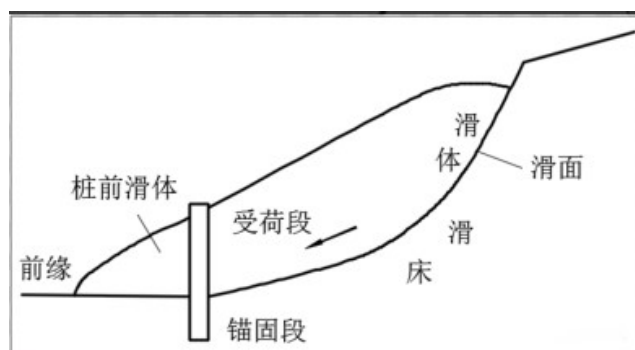
引言

水利工程是国民经济和社会发展的基础性、战略性、先导性工程。近年来,在国家大力推进水利基础设施建设的背景下,水利工程建设呈现出投资规模持续增长、项目数量不断攀升的良好态势。2023年,中国水利建设完成投资总额高达11996亿元,再创历史新高;新开工水利项目达2.79万个,较上年增长11.5%;同时为社会提供了273.9万个就业岗位,成为拉动经济增长和促进就业的重要引擎。在此背景下,边坡失稳问题成为制约水利工程建设突出瓶颈。抗滑支护技术作为保障边坡稳定性的关键手段,在水利工程建设中发挥着日益重要的作用,其合理应用已成为亟待解决的重大课题。

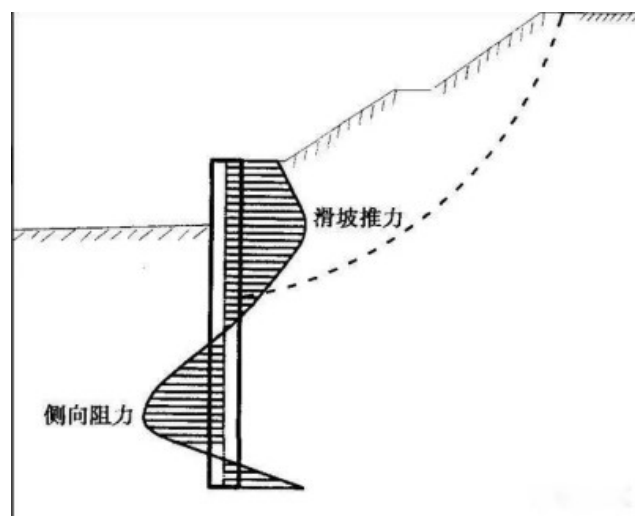
一、新型抗滑支护结构的力学性能与适用性分析

随着现代工程建设的快速发展,传统抗滑支护结构在满足日益复杂的边坡防护要求方面存在一定局限性。为克服常规支护结构的不足,学者们开展了大量的理论研究和技术创新,研发出一系列新型抗滑支护结构。例如,拱-弦耦合抗滑结构是一种代表性的新型支护形式。该结构通过合理布置多排抗滑桩,构建拱-弦耦合机制,充分调动桩间土体的变形协调作用,严格控制滑坡体的位移。与常规抗滑桩相比,拱-弦耦合结构能够有效限制桩间土体的逃逸变形,减小结构总体位移,实现边坡稳定的小变形控制(见图一)。针对城市建设和山区开发面临的特殊边坡防护需求,微型桩组合式抗滑支护技术得到了广泛应用。微型桩凭借桩身细长、适应性强的特点,能够灵活布设,充分发挥桩侧摩擦阻力和桩端阻力,有效抵抗滑动力。微型桩支护的实际效果与桩径、桩长、材料强度以及场地土体性质密切相关,设计时需针对具体工况进行参数优选。在地形起伏较大的陡峭边坡,斜拉式锚索抗滑桩支护技术展现出独特优势。该结构采用分布于坡面的次锚梁,通过仰斜锚索与抗滑桩连接,克服了传统锚索支护难以充分调动滑体抗滑能力的不足,为陡峭边坡防护提供了新思路(见图二)。在新型抗滑支护结构的研发过程中,力学性能测试和数

值模拟分析发挥着关键作用。通过物理模型试验,可直观揭示支护结构在不同加载工况下的受力变形规律,探明其极限承载能力和破坏模式。借助数值模拟技术,可详细分析支护结构的内力分布、变形协调特征,评估其在不同工程地质条件下的适用性,优化结构参数。力学性能研究成果可为新型支护结构的工程应用提供重要技术支撑^[1]。



图一 拱-弦耦合抗滑结构示意图



图二 斜拉式锚索抗滑桩边坡支护结构示意图

二、抗滑支护施工工艺的创新与实践

(一) 智能化施工技术在抗滑支护工程中的应用

智能化施工技术通过将先进的信息技术、自动控制技术与传统施工工艺深度融合,攻克了抗滑支护施工领域的诸多技术难关,显著提升了工程建设水平。在抗滑支护结构施工方面,采用智能化成孔设备,配备自动定位、智能监控等功能,可实现孔位和孔深的精准控制,有效规避人工操作误差。通过优化钻进参数、实时监测孔内状态,智能化成孔系统能够根据岩土条件动态调整施工参数,提高成孔速度和完整性。在锚杆锚索施工中,引入自动化张拉设备和实时监测系统,能够精确控制锚索张拉力,确保预应力满足设计要求。自动化张拉系统可根据监测反馈实时调节张拉力,减少人工操作不确定性,提高预应力施加精度。在混凝土浇筑方面,应用智能化混凝土浇筑系统,集成物联网技术对混凝土性能参数进行实时采集和分析,确保混凝土配合比、坍落度、强度等指标满足设计和规范要求。该系统可实现混凝土供应、输送、浇筑全过程的智能调度与质量监控,有效规避浇筑缺陷,提高混凝土结构品质。在智能化施工组织管理方面,BIM技术和动态三维可视化技术的应用为抗滑支护工程带来了革命性变革。基于BIM平台,可构建工程全生命周期的数字化模型,实现设计、施工、运维的无缝衔接和数据共享。通过模型参数化设计和建造性分析,优化施工方案,预判施工难点,提高施工效率和精度^[2]。动态三维可视化技术则通过将施工现场数据与三维模型实时关联,生成逼真的施工场景,实现对施工过程的可视化监控和动态管理。

(二) 绿色施工理念下的抗滑支护施工优化方法

在抗滑支护工程建设中,如何在保证工程质量和进度的同时,最大限度地减少对环境的负面影响,实现工程建设与生态保护的协调统一,成为亟待解决的重大课题。这就要求我们必须树立绿色施工理念,通过技术创新和管理优化,探索抗滑支护工程的绿色施工新模式。在抗滑支护方案选择上,应充分考虑不同支护形式对环境的影响程度。优先采用对环境扰动小、生态影响轻的支护结构,如微型桩、植被护坡等,减少大规模开挖和混凝土浇筑等对环境的不利干扰。合理布设施工场地和运输路线,最大限度地保护场地原有地貌和植被。在材料选用上,积极推广可再生、可循环材料的应用,如采用生态袋装土、植被混凝土等,减少不可降解材料的使用量,降低工程碳足迹。鼓励就地取材,减少材料远距离运输,降低运输能耗和污染物排放。针对抗滑支护施工易产生噪音、振动等环境问题,要大力推广绿色施工工艺。采用静压振动成桩、泥浆固化处理等低噪音、少污染的施工方法,替代传统的冲击振动施工,减轻施工扰动。在成孔过程中,优化钻进参数,采用自动化钻

孔设备,减少钻渣外溢,降低废弃物排放。在锚杆锚索施工中,采用免注浆锚杆,减少注浆浆液的环境污染风险。在现场环境管理方面,要加强施工扬尘、污水和固体废弃物的防治与处置。采取洒水降尘、覆盖防尘等措施,抑制扬尘污染;建设污水收集处理系统,防止污水肆意排放;加强固体废弃物分类收集和资源化利用,最大限度地实现废物减量化、资源化、无害化^[3]。

(三) 抗滑支护施工中的新材料应用与性能评估

在抗滑支护工程领域,传统材料的性能局限日益凸显,难以满足现代抗滑支护工程对高强度、高耐久、高韧性材料的迫切需求。因此,开发和应用高性能新材料已成为提升抗滑支护工程综合效益的必然选择。在抗滑桩施工中,采用高强高性能混凝土可显著提升桩身的抗剪切和抗压强度。与普通混凝土相比,高强高性能混凝土具有更高的密实度、更低的渗透性,能够有效抵抗外界环境的侵蚀,延长桩身使用寿命。同时,高强高性能混凝土的高弹性模量和低徐变特性,可减小桩身变形,提高桩土共同承载能力。在锚杆锚索应用中,新型防腐涂层和高强度配筋材料的问世,为提高锚固体系耐久性开辟了新途径。采用环氧涂层钢绞线、热镀锌钢绞线等新型锚索材料,可大幅提高锚索的防腐性能,延长其使用年限。超高强度钢材、碳纤维复合材料等新型配筋材料,则可显著提高锚固段的承载能力和耐疲劳性能。在挡土墙背填料中掺加水泥、粉煤灰等固化材料,可通过胶结作用增强土体的强度和耐久性,提高挡土体系的整体稳定性。新材料在抗滑支护工程中的应用,既带来机遇,也存在挑战。为全面评估新材料的工程适用性,需开展系统的应用试验和性能评估。通过室内试验和现场试验,研究新材料在抗滑支护结构服役环境下的力学性能演变规律,考察其在实际工程中的施工工艺适应性和耐久性能表现。长期跟踪评估新材料在已建工程中的实际应用效果,分析材料老化、环境侵蚀等因素的影响,对新材料的性能进行动态评价和反馈改进。

三、抗滑支护工程的质量控制与安全管理

(一) 基于BIM技术的抗滑支护工程质量管理体系

基于BIM技术构建工程质量管理体系,能够实现设计、施工、监测等环节的全过程数字化管控,推动质量管理模式从静态、经验式向动态、数据驱动式转变,全面提升工程质量管理水平。首先,BIM模型是工程信息的数字化载体。通过在BIM模型中嵌入设计参数、规范标准、质量验收等信息,形成完备的质量控制数据库,实现设计质量的可视化审核和自动校核。利用BIM技术进行虚拟施工模拟和建造性分析,优化施工方案,预判质量缺陷,指导施工操作,从源头上防范质量问题。基于BIM平台,将传感监测、数据采集等技术与工程现场紧密结合,实现变形监测、应力监测等质量控制数据的

实时采集和可视化管理,动态评估支护结构的受力状态和安全性能,及时预警质量风险^[4]。其次,BIM技术的协同管理功能,为促进工程各参与方的质量管理协同提供了便利条件。基于BIM平台,建立质量管理协同机制,实现各方管理人员的信息共享和实时互动。设计、施工、监理等各方可在统一的BIM模型上开展质量问题的标注、讨论和决策,缩短信息传递链条,提高质量问题的响应速度和处置效率。同时,BIM平台还可集成进度管理、成本管理等多维度工程管理信息,实现质量、进度、成本的协同控制,提高工程管理的整体性和科学性。

(二) 抗滑支护施工安全风险识别与防控策略

抗滑支护工程施工面临复杂多变的环境条件和诸多危险因素,如边坡失稳、高空坠物、机械伤害等,极易引发各类安全事故。因此,必须树立安全发展理念,将安全风险管控贯穿施工全过程,实现安全管理与施工生产的深度融合,为打造本质安全型工程奠定坚实基础。第一,针对抗滑支护工程,要全面系统地辨识施工各环节和场景中的潜在危险源,综合考虑人的不安全行为、物的不安全状态、环境的不良影响等因素。运用安全检查表法、事故树分析法等风险辨识技术,从多角度、全方位揭示事故隐患。在风险识别的基础上,运用定性与定量相结合的方法,评估各类风险的发生可能性和危害严重度,判断风险等级,明确管控重点。第二,严格落实安全技术交底和安全教育培训,提高各岗位人员的安全意识和技能素质,规范从业行为。科学制定施工方案和安全技术措施,保证施工工序安全、位置安全、时间安全。加强临边洞口防护,构筑高处坠落防护体系。规范起重机械、施工机具的安装、使用和维护保养,消除设备隐患。强化危险性较大工程的专项方案编制和论证,落实安全防护设施和应急处置措施^[5]。第三,要建立健全安全管理网络,明确各层级安全责任人及其安全职责,签订安全责任书,形成纵向到底、横向到边、无缝衔接的责任体系。制定严密的安全管理制度和操作规程,规范安全行为。加大安全检查力度,及时发现和消除安全隐患,做到“四不放过”。

(三) 抗滑支护工程的全生命周期性能监测与评估

在复杂多变的外部环境长期作用下,支护结构的性能难免出现退化和异常,因此,须树立全生命周期工程观,开展支护工程性能的跟踪监测和动态评估,及时发现性能退化问题。一来,运用多参数融合监测技术,布设以位移、应力应变、地下水为代表的立体化监测系统,对支护结构及周边环境进行长期、动态、精准的信息采集。大断面位移计、激光扫描、合成孔径雷达等先进技术,可实现边坡体位移的高精度监测。光纤传感、

无线传感等智能化手段,能够实时获取支护结构的受力、变形信息。基于物联网的数据采集与通信技术,则使得海量监测数据的自动采集、传输和存储成为可能。监测大数据为全面刻画支护工程性态奠定了数据基础^[6]。二来,通过对监测数据的分类归纳、关联分析,揭示支护结构变形、受力的时空分布规律,刻画环境因素与结构性能的定量关系,构建工程性态评估的分析框架。引入有限元分析、数字孪生等数值模拟技术,建立支护结构的力学计算模型,模拟结构在各类工况下的受力变形行为,评判结构的安全裕度和剩余承载能力。基于大数据分析和数值模拟,形成工程性能的阶段性评估结论,揭示性能退化的演化趋势,预判工程的长期安全性,为养护维修决策提供科学依据。三来,基于性能评估结果,从主动预防的角度,制定针对性的日常养护措施,延缓支护结构性能的衰退。综合运用工程和非工程手段,提升支护体系的整体安全性。一旦监测数据显示结构性能达到预设阈值,或出现显著的变异情况,须及时启动预案,开展维修加固工作,消除安全隐患。

结束语

本文从抗滑支护结构、施工创新和管理提升三个维度,系统分析了抗滑支护技术在水利工程中的应用方法和实践路径。深入研究不同地质条件下的支护方案选型、新型支护结构性能、智能化绿色施工工艺、新材料研发应用、BIM质量管控模式、安全风险防控和全生命周期性能评估等关键问题,对于提升抗滑支护工程的科学性、安全性、经济性和可持续性具有重要意义。未来,需要继续加强基础理论研究和关键技术攻关,促进产学研用协同创新,推动抗滑支护技术的优化集成和工程应用,为保障水利工程高质量发展提供有力支撑。

参考文献

- [1] 龙伟. 抗滑支护施工技术在水利工程中的应用研究[J]. 水上安全, 2024(17): 150-152.
- [2] 贾慧琳. 边坡开挖支护技术在水利施工工程中的应用研究[J]. 地下水, 2024, 46(04): 275-277.
- [3] 金军华. 抗滑桩锚杆组合支护结构在水利工程边坡治理中的应用[J]. 水利科技与经济, 2024, 30(03): 23-26.
- [4] 杨奎. 抗滑桩在水利工程边坡支护中的应用分析[J]. 水利科技与经济, 2024, 30(02): 157-160.
- [5] 袁欢. 水利工程施工中的边坡开挖及防护技术[J]. 水上安全, 2024(03): 160-162.

作者简介: 黄汉峰, 1978.12月, 男, 汉族, 籍贯(山东潍坊昌乐), 本科, 中级工程师, 研究方向: 水利工程规划、设计, 水利工程施工组织和管理, 水利工程安全标准化运行等。