

预应力锚索在岩土边坡工程治理中的应用研究

黄明鑫

桂林理工大学地球科学学院，广西 桂林 541000

摘要：在土木工程领域中，岩土边坡工程占据重要地位，其稳定性直接关系到众多基础设施的安全与运行效能。受自然与人为因素共同影响，边坡失稳事件频发，这不仅对民众的生命财产安全构成严峻威胁，也对经济发展造成不利影响。鉴于此，探索并实施有效的边坡加固技术，已成为岩土工程领域亟待攻克的关键问题之一。预应力锚索技术作为一种主动加固手段，凭借其高效且灵活的特性，在边坡治理领域展现出了广泛的应用潜力。本文分析岩土边坡工程治理要求以及应用重要性，论述预应力锚索在岩土边坡工程治理中应用路径。

关键词：预应力锚索；岩土边坡工程治理；应用研究

Application Research of Pre-stressed Anchor Cables in Geotechnical Slope Engineering Management

Huang,Mingxin

College of Earth Sciences,Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi, 541000, China

Abstract: In the field of civil engineering, geotechnical slope engineering occupies an important position, and its stability directly relates to the safety and operational efficiency of numerous infrastructure facilities. Influenced by both natural and anthropogenic factors, slope instability incidents occur frequently, posing severe threats to people's lives and property and adversely affecting economic development. In light of this, exploring and implementing effective slope reinforcement techniques has become one of the key issues urgently needing to be tackled in the field of geotechnical engineering. As an active reinforcement method, pre-stressed anchor cable technology, with its high efficiency and flexibility, has demonstrated extensive application potential in slope treatment. This paper analyzes the requirements and importance of geotechnical slope engineering treatment and discusses the application pathways of pre-stressed anchor cables in geotechnical slope engineering treatment.

Keywords: Pre-stressed anchor cable; Geotechnical slope engineering treatment; Application research

DOI: 10.62639/sspis27.20240103

随着城市化步伐的加快以及基础设施建设的迅猛推进，岩土边坡的稳定性问题愈发凸显，成为制约工程建设与自然环境和谐共生的主要障碍。传统边坡治理手段多倾向于被动防护措施，例如设立挡土墙和护坡等，尽管在某些情境下取得了一定成效，但在面对复杂地质条件时往往显得力不从心。预应力锚索技术的引入，为边坡治理领域注入了技术创新的新活力。该技术通过精准调控锚索的张拉与锁定状态，实现了对边坡岩土体的主动加固，显著增强了其抗滑移与抗倾覆的能力^[1]。本研究着重探讨预应力锚索在复杂岩土边坡工程中的应用策略，涵盖锚索的选型、预应力的设定原则、锚固段的设计优化以及长期性能监测等方面，旨在建立一套系统化、科学化的预应力锚索应用体系，为解决边坡稳定性问题提供新的思路与方法，同时推动岩土工程技术向更加绿色化和智能化的方向迈进。

一、岩土边坡工程治理要求

岩土边坡工程的治理工作，必须严格遵循科学原则与工程实践规范，以确保在复杂地质

条件与多变环境下边坡的长期稳定性。从整体角度分析，治理设计需全面考量地质状况、气候条件及工程需求，依托详尽的岩土工程勘察数据，运用先进的数值分析技术和物理模型试验方法，科学论证治理方案的可行性，以确保所采取的治理措施既经济合理又安全可靠。此外，在施工过程中，务必严格执行施工工艺标准。例如，在运用喷锚支护技术时，需确保锚杆的安装深度、注浆的饱满程度以及喷射混凝土的强度均满足设计要求，从而避免因施工质量问题而对边坡稳定性造成不良影响^[2]。针对高陡边坡或地质条件复杂的区域，应积极探索并采用预应力锚索、格构梁等新型支护结构，以增强边坡整体的抗滑移能力，并结合生态防护措施，如植被恢复与土壤改良，以实现边坡治理与环境保护的双重目标。在治理过程中，还应高度重视监测与预警系统的建立，通过设置自动化监测点，对边坡的变形情况进行实时监控，一旦发现异常情况，立即启动应急预案，并采取必要的加固措施，以防止边坡失稳事故的发生。综上所述，岩土边坡工程的治理工作不仅需要关注技术措施的先进性与施工质量的严格控

（稿件编号：IS-24-3-4001）
作者简介：黄明鑫（1996-07），男 汉族，青海海东人，学历：研究生在读 职称：无。

制, 还应确保治理方案的科学性、经济性与环境友好性, 以保障边坡工程在长期运营中的稳定性, 为工程安全与生态环境保护提供坚实保障。

二、预应力锚索在岩土边坡工程治理中应用重要性

(一) 控制岩土体变形

在自然环境因素(如降雨、地震)及人类活动的影响下, 岩土体易发生位移、滑移乃至崩塌, 对工程安全构成严重威胁。预应力锚索技术的出现, 为有效控制岩土体变形提供了强有力的解决方案。该技术涉及在岩土体内部施加预加应力锚索, 利用锚索与岩土体间的摩擦力以及锚索自身的抗拉强度, 对岩土体实施有效的约束与支撑。通过施加预应力, 可主动调整岩土体的内部应力状态, 降低不利应力的积累, 从而有效减轻岩土体变形的风险^[3]。此外, 预应力锚索还能提升岩土体的整体刚度, 增强其抵御外界干扰的能力, 确保边坡在长期运营中保持稳定。

(二) 增强岩土边坡稳定性

预应力锚索技术的应用, 显著增强了岩土边坡的稳定性。具体而言, 该技术通过施加预加应力, 对边坡岩土体中的潜在滑动面进行了有效加固, 成功抑制了滑动面的形成与发展趋势。锚索与岩土体紧密结合, 构成了一体化的支护结构, 进而提升了边坡的整体强度与抗滑移能力。此外, 预应力锚索还具有调整边坡内部应力分布的作用, 降低了不利应力对边坡稳定性的影响。尤其在高陡边坡或地质条件复杂的情况下, 预应力锚索技术凭借其独特优势, 通过多层次、多方向的锚索布置, 构建了立体化的加固体系, 全面提升了边坡的稳定性。

(三) 利于环境保护工作落实

传统的边坡治理方法通常涉及大量的土方开挖与削坡作业, 这不仅对原有的生态环境造成破坏, 还可能诱发水土流失等一系列环境问题。预应力锚索技术的应用, 在一定程度上有效缓解了这些矛盾。该技术主要作用于岩土体内部, 无需进行大规模的削坡处理, 因此能够最大限度地减少对边坡原始地形的干扰。此外, 锚索施工过程中对边坡植被的影响相对较小, 有助于维护边坡区域的生物多样性。预应力锚索技术还通过增强边坡的稳定性, 降低了因边坡失稳可能诱发的次生灾害风险, 如泥石流和滑坡等, 从而间接地保护了周边的生态环境。

三、预应力锚索在岩土边坡工程治理中应用路径

(一) 精准勘察, 科学设计预应力锚索方案

鉴于岩土工程所面对的地质条件具备复杂性与不确定性特征, 设计阶段务必实施深入的现场调查, 并执行详尽的地质勘探工作。这不仅意味着要全面把握岩土体的物理力学性质及水文地质

状况, 还涉及对诸如潜在滑坡面、节理裂隙等关键地质构造的准确辨识^[4]。借助于高精度测绘技术、原位试验手段以及地质雷达等现代科技方法, 我们能够建立起边坡的三维地质模型, 为预应力锚索的设计提供坚实的数据基础。在设计预应力锚索方案的过程中, 应依据地质勘察的成果, 科学合理地确定锚索的长度、直径、倾角及预应力等核心参数, 以确保锚索既能有效抵御岩土体的下滑力, 又能将对环境的影响降至最低, 从而实现经济性与安全性的和谐统一。

例如: 在进行高速公路沿线高边坡的治理工作时, 首要步骤是执行详尽的地质勘查。这一过程融合了无人机航拍技术、地面测绘作业以及多处钻孔的原位试验, 全面揭示了边坡岩体的风化程度、节理发育情况及地下水分布特征。基于这些详实的数据, 设计团队运用有限元分析软件, 对不同工况下的边坡稳定性进行了模拟, 并据此对预应力锚索的设计方案进行了优化。所选用的锚索由高强度、低松弛特性的钢绞线制成, 其长度根据潜在滑坡面的深度进行精确计算, 而倾角则依据边坡地形与岩体力学特性进行细致调整, 以确保锚索能够穿透滑动面, 深入至稳定的岩层之中。此外, 通过预先施加预应力, 主动调整了岩土体的应力状态, 有效遏制了边坡的变形趋势。施工完毕后, 监测数据表明, 边坡的稳定性得到了显著提升, 预应力锚索系统展现出了显著的加固成效。

(二) 优化锚索结构, 提升支护强度

传统锚索结构常面临承载能力欠缺及抗腐蚀性能不佳等问题, 难以满足现代大型工程对边坡稳定性的严格要求。因此, 创新锚索结构形式, 选用高性能材料, 并科学设计锚头、锚具等核心部件, 成为提升锚索支护效能的关键。例如, 选用具有卓越耐腐蚀性能的不锈钢或镀锌钢绞线作为锚索主体材料, 可有效延长锚索的使用寿命; 通过优化锚头设计并增设锁紧机制, 确保预应力能够长期有效地传递; 同时, 采用新型锚具以增强锚索与岩土体的结合强度, 从而降低滑脱风险。此外, 针对锚索在不同工况下的受力特性, 设计中还可融入变截面、变刚度等先进理念, 以进一步提升锚索的适应性和支护效率。

以大型水电站库岸边坡加固工程为实例, 鉴于该边坡具有高度显著、地质条件复杂的特点, 项目团队对预应力锚索结构实施了全面的优化策略。在锚索主体的选择上, 采用了高强度且耐腐蚀的镀锌钢绞线, 同时在锚头部分创新性地引入了双锁紧机制设计, 以确保预应力在长期服役过程中不会因锚头松动而遭受损失。在锚具的选择上, 则选用了具备自锁功能的楔形锚具, 并通过延长锚固段长度、增大注浆压力等手段, 显著增强了锚索与岩土体之间的结合强度。除此之外, 考虑到边坡不同区域所承受的应力存在差异, 项目团队还创造性地设计了变截面锚索: 在边坡上部易变形区域, 采用较大直径的锚索以增强支护刚度; 而在下部相对稳定区域, 则适当减小锚索

直径, 以实现成本的有效控制。

(三) 精细化施工, 确保锚索安装质量

在岩土边坡工程的治理实践中, 预应力锚索的应用成效与其安装质量的精细度之间存在着直接的关联。精细化施工不仅构成了技术层面的坚实保障, 更是构筑起一道安全防线^[5]。作为加固边坡的核心构件, 预应力锚索在安装过程中的每一个细节均需受到严格的监控与管理。从锚索材料的甄选、锚孔的定位与钻孔作业、预应力的施加, 到锚固段的灌浆处理, 每一步骤都必须遵循科学且严谨的施工规范来执行。借助于精细化施工这一策略可以在最大程度上消减施工过程中出现的失误, 保证锚索与岩土体达到紧密结合, 继而形成有效支护体系, 并最终促使边坡整体稳定安全。

同样, 高速公路边坡治理项目前期阶段也应开展详细的地质勘察, 查明边坡岩性特征, 结构面特性及潜在滑动面具体方位。在锚索材料选用上, 该工程采用高强度低松弛钢绞线和优质锚具及注浆材料。施工期, 该队采用先进钻孔设备准确控制锚孔位置, 角度及深度, 保证锚索能通过潜在滑动面, 深入稳定岩层。在预应力施加阶段, 项目采用了张拉控制系统, 对预应力值进行实时监测与调整, 以确保其满足设计要求。锚固段的灌浆作业则采用了高压注浆技术, 以确保浆液能够充分填充锚孔并与周围的岩土体紧密结合。通过这一系列精细化的施工措施, 该项目的预应力锚索安装质量得到了有效保障, 边坡的稳定性显著提升, 为后续工程的顺利进行奠定了坚实基础。

(四) 动态监测, 实时调整支护策略

边坡稳定性受诸多因素影响, 涵盖降雨、地震、人类活动等, 这些因素的变动或许会引起边坡受力状态的改变。故而, 实施边坡位移、变形及锚索预应力变化的动态监测, 能够及时察觉潜在的安全风险, 并据此适时调整支护方案, 以保障边坡的长期稳定性。动态监测不仅是对施工质量的核查, 也是对边坡治理成效的持续改进。

例如: 在山区水库边坡治理项目中, 预应力锚索被用于加固, 并配套建立了全面的动态监测系统。该系统包含自动化位移监测站、应力传感器以及远程数据传输系统等关键组件。施工期间及后续运维阶段, 监测系统能够自动收集边坡位移数据及锚索预应力值, 并实时通过网络传输至监控中心。监控中心的专业人员会分析评估这些数据, 一旦边坡位移或锚索预应力出现异常波动, 便会立即启动预警机制, 同时组织技术人员进行现场核查。基于核查结果, 项目团队会适时调整支护方案, 对预应力损失较大的锚索实施二次张拉, 并在位移显著区域增设临时支撑。通过动态监测与即时调整策略的结合, 该项目成功抵御了多次强降雨和轻微地震的影响, 确保了边坡的稳定性和水库的安全运行。

(五) 综合防护, 提升生态环境效益

在岩土边坡工程的治理实践中, 预应力锚索技术不仅展现出强大的边坡加固能力, 确保了边坡的稳定性, 而且通过与综合防护策略的融合,

显著增强了生态环境效益。该技术利用预加应力的机制, 促使边坡岩土体紧密结合, 构建成一个稳固的整体结构, 从而大大降低滑坡、崩塌等地质灾害的发生概率。在此过程中, 若辅以生态护坡措施, 例如植被的恢复与坡面的绿化工作, 不仅能进一步加固边坡的稳定性, 还能积极推动生态环境的恢复与提升。实施综合防护策略, 既契合了可持续发展的核心理念, 也代表了现代岩土工程边坡治理的重要发展方向。经由科学规划与精心设计, 预应力锚索技术与生态防护措施相互补充, 共同促进了边坡治理综合效益的显著提升。

以山区高速公路边坡治理为例, 项目团队在运用预应力锚索技术进行边坡加固的基础之上, 进一步实施了综合性的防护策略。经过细致的现场勘查与地质分析, 团队精心制定了预应力锚索的布设方案, 以确保锚索能够有效地锚固岩土体, 从而提升边坡的整体稳定性。在此基础上, 项目团队引入了生态袋护坡技术, 将装有植被种子的生态袋铺设于边坡表面, 利用植被生长后根系的固土作用, 进一步加固边坡结构。同时, 结合喷播绿化技术, 迅速在边坡坡面形成植被覆盖层, 有效遏制了水土流失, 显著提升了边坡的生态环境质量。随着植被的逐渐繁茂, 边坡的稳定性不仅得到了增强, 还成为了一道引人注目的风景线, 为该区域带来了显著的生态环境效益。

四、结语

预应力锚索技术在岩土边坡工程治理领域展现出了巨大的应用潜力和实际价值。通过实施精准勘察、科学设计、锚索结构优化、精细化施工、动态监测以及综合防护等策略, 该技术不仅有效地控制了岩土体的形变, 显著提升了边坡的稳定性, 还有利于环境保护工作的实施, 实现了技术与环境的和谐共存。随着技术的不断创新和完善, 预应力锚索技术有望在更多复杂的岩土边坡工程治理中发挥关键作用, 为土木工程领域的可持续发展做出重要贡献。同时, 综合考虑技术应用的经济性、安全性以及环境友好性, 将进一步推动岩土工程技术的绿色化、智能化发展, 为构建安全、稳定且生态友好的边坡工程提供强有力的技术支撑。

参考文献:

- [1] 王晓燕, 李凯旋. 预应力锚索施工技术在矿山岩土边坡工程治理中的应用 [J]. 冶金管理, 2022, (17): 60-62.
- [2] 万燎榕. 预应力锚索在高边坡岩土工程治理中的运用 [J]. 建筑技术开发, 2019, 46 (22): 65-66.
- [3] 李宏俊. 预应力锚索在高边坡岩土工程治理中的运用 [J]. 世界有色金属, 2019, (23): 243+246.
- [4] 王磊. 预应力锚索在矿山岩土边坡工程治理中的实践分析 [J]. 世界有色金属, 2019, (20): 66-67.
- [5] 王海平. 预应力锚索在岩土边坡工程治理中的应用 [J]. 中国金属通报, 2020, (03): 125+127.