

公路与桥梁工程边坡稳定性分析与生态防护技术研究

罗江涛

上海先行建设监理有限公司 上海 200040

摘要:随着我国基础设施建设的快速发展,公路与桥梁工程的建设规模不断扩大,边坡稳定性问题日益凸显。边坡失稳不仅会导致严重的经济损失,还可能威胁到人民生命安全。因此,对边坡稳定性进行准确分析,并采取有效的生态防护措施,对于确保公路与桥梁工程的安全运行具有重要意义。本文首先分析了影响边坡稳定性的主要因素,然后探讨了边坡稳定性分析的常用方法,最后提出了几种生态防护技术,并对其应用效果进行了评估。

关键词:边坡稳定性;生态防护;公路桥梁工程;稳定性分析

引言

公路与桥梁工程是国家基础设施的重要组成部分,其安全稳定直接关系到交通运输的畅通无阻。边坡作为公路与桥梁工程的重要组成部分,其稳定性对于整个工程的安全性至关重要。边坡失稳不仅会造成公路桥梁的损坏,还可能引发滑坡、泥石流等自然灾害,给社会和经济带来巨大损失。因此,开展边坡稳定性分析与生态防护技术研究,对于提高公路与桥梁工程的耐久性和安全性具有重要的现实意义。

一、公路与桥梁工程边坡稳定性影响因素分析

(一) 工程边坡的特殊性

在公路桥梁工程中,常见的边坡类型主要包括路堑边坡、路堤边坡以及桥台边坡。路堑边坡是在山体中开挖形成的,其稳定性直接关系到上方山体的稳定和下方道路的安全;路堤边坡则是通过填筑土石方形成的,其稳定性依赖于填料的性质和压实度;桥台边坡则位于桥梁两端,支撑着桥梁上部结构,其稳定与否直接影响桥梁的整体安全。这些工程边坡与一般自然边坡相比,具有显著的区别。首先,它们的位置和形态往往受到路线走向的限制,需要根据地形条件进行精确设计,这可能导致边坡在某些地段变得异常陡峭或不规则。其次,桥梁结构的布置,如桥墩、桥台的位置,会直接影响到附近边坡的几何形状和受力状态。再者,公路工程的填挖方工程量大,施工过程中对原地层的扰动剧烈,改变了原有的应力场和地下水径流条件。这些因素都使得公路桥梁工程边坡的稳定性问题更加突出和复杂^[1]。

(二) 内在因素

影响公路桥梁边坡稳定性的内在因素,主要是指边

坡岩土体本身所固有的性质和条件,这些因素构成了边坡稳定性的基础。岩土体性质是核心要素,包括土石的种类、颗粒组成、密度、孔隙率、含水率、抗剪强度指标(如内聚力 c 和内摩擦角 ϕ)等。例如,粘性土通常具有一定的粘聚力,但浸水后强度会显著降低;而砂性土的稳定性则更多依赖于颗粒间的摩擦力,容易发生流砂或液化。地质构造,如断层、裂隙、节理的分布、产状和发育程度,会在岩土体中形成潜在的滑动面或软弱带,极大地削弱边坡的整体性。地下水条件也是一个至关重要的内在因素,地下水位的埋深、渗透路径和压力,不仅会软化岩土体、降低其有效应力下的抗剪强度,还可能产生静水压力或动水压力,对边坡稳定性造成不利影响。这些内在因素共同决定了边坡在未受外部干扰时的初始稳定状态。

(三) 外在因素

除了内在因素,公路桥梁边坡还受到多种外在因素的显著影响,这些因素往往与工程建设活动和运营环境密切相关,其作用机制也更为特殊。施工开挖或填筑扰动是首要的外部扰动因素。开挖会卸荷,改变坡体应力状态,甚至暴露出不良地质体;填筑则可能增加坡体自重,改变坡脚支撑条件,如果填筑工艺不当,还可能导致填土不均匀沉降或压实度不足,形成内部薄弱面。降雨入渗是另一个关键的外部因素,特别是在热带和湿润地区。雨水渗入坡体,会显著增加土体含水量,降低有效应力,从而降低岩土体抗剪强度,同时可能增大孔隙水压力,诱发滑坡或浅层崩塌。温度变化,尤其是冻融循环和干湿交替,会引起岩土体物理状态的变化,如冻胀、盐渍化、风化剥落等,长期作用下会削弱坡体结构。桥梁结构荷载,特别是桥台后填土产生的土压力,会直

接作用于桥台和相邻边坡，如果设计或施工不当，可能超过坡体的承载能力。此外，公路运营期间持续作用的交通荷载振动，虽然单个车辆荷载不大，但长期、高频次的振动可能诱发边坡土体的累积变形，降低其长期稳定性，尤其是在饱和或软弱土层中。这些外在因素往往相互叠加，共同作用于公路桥梁边坡，使其稳定性面临更大的挑战^[2]。

二、公路与桥梁工程适用生态防护技术探讨

（一）技术类型与特点

适用于公路桥梁工程边坡的生态防护技术多种多样，各有其特点和适用场景。植生袋/毯技术是将草籽、肥料、保水剂等与轻质基质混合后，装入特制的纤维袋或铺设成毯状，直接堆叠或铺设在坡面上。这种方式尤其适用于坡度较陡或形状不规则的边坡，以及需要快速实现初步覆盖的场合，施工便捷，对坡面扰动小。喷混植生技术则是将含有草籽、肥料、有机质、稳定剂的混合料，通过专用设备喷射到经过处理的坡面上，形成一层或多层覆盖层。它适用于各种坡度的土质或弱风化岩质边坡，能够形成较厚的植被生长基材，植物长成后覆盖度高。土工格室植草技术利用高强度的土工格室作为骨架，格室内填充土壤或改良土，再进行植被种植。格室提供了良好的结构支撑，能有效防止表层土体滑动，特别适用于坡度较陡、稳定性相对较差的边坡，或者作为其他防护措施的辅助。生态袋则是由特殊材料制成的袋体，内装土壤或客土，袋体之间通过连接扣固定，形成具有一定强度的坡面结构，同时允许水缓慢渗透。生态袋常用于路堤边坡、桥台后边坡等，既能提供一定的工程稳定性，又能快速绿化。这些技术在工程边坡条件下实现防护，关键在于它们能够快速建立植被覆盖，并利用植被或辅助工程材料共同抵抗坡面侵蚀和变形。

（二）作用机制分析

结合公路桥梁边坡常面临的陡峭坡度、填挖方扰动、可能存在的软弱土层等特...生态效益。首先，植被本身就一层“生物地毯”，能有效拦截降雨击溅，减少地表径流的形成和流速，从而直接保护坡面免受冲刷。其次，随着植被根系深入土体，特别是深根性植物的根系能够像“生物钉”一样，将松散的土颗粒或破碎的岩块锚固在一起，显著提高土体的整体性和抗剪强度。浅根性植物的须根则能填充土体孔隙，增加土体间的摩擦力和咬合作用。此外，植被的蒸腾作用能带走部分坡体水分，降低土体含水率，改善土体力学性质。在改善坡面水文条件方面，植被冠层能截留部分降雨，减缓雨水直

接冲击坡面；茂密的根系和地表覆盖物能增加雨水入渗，减少地表径流，调节坡体水分状况。这些机制共同作用，有效提升了边坡的力学稳定性，减少了滑坡、崩塌等灾害的风险。其生态效益同样显著，成功的生态防护能最大程度地减少因工程建设引起的水土流失，保护周边水环境；同时，绿色的坡面取代了裸露的土石，极大地改善了道路沿线的景观，减少了视觉污染，有助于提升行车舒适度，并可能为小型野生动物提供栖息地，促进区域生物多样性的恢复^[3]。

（三）材料与工艺要求

在公路桥梁工程中应用生态防护技术，对材料的选择和施工工艺有着更为严格的要求。生态防护材料不仅要具备良好的生态功能，如提供植物生长所需的环境、允许水分和空气交换，还必须满足一定的工程性能要求。例如，植生袋的纤维材料、土工格室和连接扣的强度、生态袋的耐候性和抗紫外线能力等，都需要足够高，以确保在长期暴露于自然环境和承受坡体自身重量及可能的外部荷载（如轻微振动）下，材料本身不发生快速老化、断裂或变形，从而保证防护体系的长期有效性。施工工艺方面，必须充分考虑与主体工程结构的紧密衔接。例如，在挡土墙后的回填边坡进行生态防护时，需确保防护体系与挡土墙墙顶或墙面有可靠的连接或过渡处理，避免形成薄弱环节；在桥台边坡应用时，防护层需要平稳过渡到桥台结构上，并处理好排水问题，防止桥台后填土因积水而产生过大的侧向压力。施工过程中，对坡面的清理、基材的铺设厚度与均匀性、植被的播种或栽植密度、以及后期的养护管理等环节，都需要严格遵循规范，确保各工序质量，才能最终实现预期的防护效果和生态效益。

三、公路与桥梁工程边坡生态防护的集成考量

（一）稳定性与结构安全的协同

生态防护技术虽然具有改善坡面环境、增强浅层稳定性的作用，但往往难以独立承担复杂地质条件下或高陡边坡的全部稳定责任。因此，其与必要的工程措施进行有效协同至关重要。这通常意味着...，确保在植物根系逐渐发育、发挥深层锚固作用之前，以及植物生长成熟后，整个坡体都能抵御各种内外因素（如降雨、振动、温度变化）的挑战。特别是在桥台等结构部位，桥台后填土的压实度、排水条件以及坡面防护的连续性，直接关系到桥台自身的稳定和正常使用。生态防护层需要与桥台结构紧密衔接，处理好台后排水，避免因积水导致填土压力增大或冻胀破坏，同时防护体系本身也要能承

受桥台可能传递来的微小变形或振动影响。这种协同作用确保了生态防护不是工程安全的“短板”，而是整个边坡稳定体系中有机且可靠的一环^[4]。

（二）环境适应性选择

选择最适宜的生态防护技术组合，必须进行深入的环境适应性分析。首先要考虑公路桥梁工程所在地的宏观气候条件，如降雨量、降雨强度、蒸发量、极端温度、风力等，这些直接影响植被的生长潜力、土壤的水分状况以及防护措施的耐久性。例如，在干旱少雨地区，可能需要选择耐旱植物品种，并考虑增加保水措施；而在多雨地区，则要特别关注排水设计，防止坡面积水冲刷。土壤条件也是关键因素，包括土壤类型、肥力、pH值、有机质含量等，这决定了植物生长的基础好坏，也影响不同防护技术（如喷混植生所需基材配方）的选择。水文条件，特别是地下水位、地表径流情况，关系到边坡的浸润线位置和冲刷风险。同时，边坡的具体工程参数，如坡度陡缓、坡高大小、土石方性质（是土质、岩质还是土石混合），更是直接决定了防护技术的物理可行性。例如，坡度过陡可能需要采用土工格室或生态袋等具有更强结构支撑作用的技术，而低矮缓坡则可能适合更经济的喷播或植生袋技术。只有综合评估这些因素，才能筛选出在特定环境下最能生根立足、发挥最佳防护和生态效益的技术组合。

（三）全生命周期考量

生态防护技术在公路桥梁工程中的效果并非一成不变，而是随着时间推移经历一个动态演变的过程，需要进行全生命周期的考量。在工程初期，生态防护的首要任务是固持表层土壤，防止雨冲、风蚀，为后续植被生长创造条件，此时的防护效果主要依赖工程材料（如网、袋、格室）的物理作用。进入中期，随着植物种子的萌发、生长，植被逐渐覆盖坡面，其根系开始向土体内部延伸，发挥加筋、锚固作用，同时地上部分形成保护层，显著增强坡面抗冲刷能力。这一阶段是效果提升最快的时期，但也可能遇到病虫害、杂草竞争、干旱或水淹等挑战，需要适当的养护管理来保障植物顺利成活并覆盖。到了长期稳定阶段，健康的植被群落已经形成，其根系与土体紧密结合，共同构成一个稳定的复合结构，能够有效抵御各种自然因素和轻微的人为扰动，同时展现出

良好的生态效益，如减少水土流失、改善景观、促进生物多样性。然而，这种长期稳定并非一劳永逸。管理者需要制定相应的维护管理策略，可能包括定期的巡查、必要的补植、病虫害防治、以及应对极端气候事件的预案。通过全生命周期的动态管理和维护，才能确保生态防护技术持续发挥其工程防护和生态修复的双重效益，保障公路桥梁工程的安全与可持续发展^[5]。

结语

公路与桥梁工程边坡稳定性受多种内在与外在因素的影响，其稳定性问题复杂且突出。而生态防护技术为解决这一问题提供了有效的途径，不同类型的生态防护技术各具特点与适用场景，通过其独特的作用机制发挥着防护与生态效益。但要实现公路与桥梁工程边坡的有效防护，不能仅依赖单一的生态防护技术，还需综合考量多方面因素。在稳定性与结构安全协同方面，生态防护要与必要工程措施有效配合，成为边坡稳定体系中可靠的一环；在环境适应性选择上，要全面评估宏观气候、土壤、水文及边坡工程参数等因素，筛选出最适宜的技术组合；在全生命周期考量上，需根据不同阶段的特点进行动态管理与维护。只有将这些方面统筹兼顾，才能充分发挥生态防护技术的作用，保障公路与桥梁工程边坡的长期稳定，减少地质灾害的发生，同时实现生态恢复与景观美化的目标，促进公路与桥梁工程建设的可持续发展。

参考文献

- [1] 杨小彪. 市政道路桥梁安全与耐久性分析[J]. 江西建材, 2022, (09): 165-166+170.
- [2] 孙爱敏. 市政道路桥梁地基施工技术与管理[J]. 四川水泥, 2022, (07): 273-275.
- [3] 张春丽, 吴振. 市政道路桥梁施工预算管理研究[J]. 运输经理世界, 2022, (18): 50-52.
- [4] 王东. 京台改扩建工程主线跨市政道路桥梁拆除施工技术[J]. 黑龙江交通科技, 2022, 45(03): 93-94+98. DOI: 10.16402/j.cnki.issn1008-3383.2022.03.026.
- [5] 周兵. 影响市政道路桥梁施工技术的因素及相应对策[J]. 数码设计, 2017, 6(10): 62-63. DOI: 10.19551/j.cnki.issn1672-9129.2017.10.069.