

# 高速公路路基高边坡防护措施应用研究

刘产群

中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司

**摘要：**本文深入探讨高速公路路基高边坡防护措施的多方面应用，包括问题分析、传统与现代防护方法，以及防护管理和维护的重要性。文章详细介绍边坡问题的原因、所带来的危害，以及通过新材料、技术监测和先进的数据分析等手段对其进行有效管理和维护的策略。这些内容体现在确保高速公路安全和稳定性方面，综合性防护策略的关键作用。本文旨在为高速公路路基高边坡的防护措施提供全面的理论支撑和实践指导，促进该领域的技术创新与发展。

**关键词：**高速公路路基；高边坡；防护措施

**【DOI】** 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.03.057

## 引言

随着交通基础设施的快速发展，高速公路路基高边坡的稳定性成为工程安全和环境保护的重要议题。高边坡的复杂地质结构和不断变化的环境条件给其稳定性带来挑战，直接关系到交通安全和经济效益。因此，深入研究高边坡的防护措施，不仅对于保障道路使用者的安全至关重要，也对维护生态环境和促进可持续发展具有重大意义。

### 一、高速公路路基高边坡问题分析

#### （一）高速公路路基高边坡的定义和特点

高速公路路基高边坡指的是在高速公路建设中，为适应地形条件或降低工程造价而设计的较高的边坡。这类边坡通常高度超过一定标准，如6米或更高，根据具体地质、地形和工程需求而定。在高速公路的线路设计中起到关键作用，尤其是在山区或多变地形中。高边坡的设计和施工涉及复杂的工程技术，包括土体力学、岩石力学、水文地质学等领域。这些边坡的设计必须确保长期稳定性和安全性，以防止滑坡或坍塌事故，这对保障交通安全和道路持续运营至关重要。因此，高边坡的设计不仅仅是一项技术挑战，更是一项安全责任。

高速公路路基高边坡的显著特点在于其高度和斜度，决定它们对环境的适应性和对工程稳定性的挑战。这些边坡通常面临着较高的水土流失风险，特别是在极端天气条件下。由于其高度，这些边坡对地下水流和地表水流的影响更为显著，会导致水流方向变化或地下水位上升，进而影响边坡稳定性。此外，这些边坡在地质构造和土壤成分上通常具有较大的差异性，这要求在设计施工过程中进行详细的地质调查和定制化处理。在环境方面，高边坡对周边生态系统造成影响，例如改变土壤性质、植被状况和野生动物栖息地。由于这些特点，高速公路路基高边坡的维护和管理工作相对复杂，

需要定期监测和及时维护以预防潜在的安全隐患<sup>[1]</sup>。

#### （二）高边坡问题的原因

##### 1. 地质因素

高边坡的稳定性受到多种地质因素的影响。这些因素包括土壤类型、岩石结构、地层倾斜角度、地质断裂和裂隙的存在等。例如，某些土壤类型，如黏土，在潮湿条件下失去强度，增加滑坡风险。岩石类型也至关重要，因为某些岩石（如页岩）在水分影响下更易膨胀和剥离。地层的倾斜角度会导致天然斜坡不稳定，尤其是当倾斜方向与道路布局方向一致时。地质断裂和裂隙的存在会削弱岩土体的整体结构完整性，从而增加坍塌的风险。此外，地下水流动可以改变土壤的稳定性，尤其是当水流通过可溶性岩石，如石灰石时，会导致地下空洞和洞穴的形成。

##### 2. 工程施工因素

高边坡的稳定性还受到工程施工过程中各种因素的影响。施工质量、工程设计、材料选择和施工方法都是关键因素。不恰当的施工方法会导致边坡过度扰动，增加崩塌风险。例如，过度的挖掘会导致边坡失去支撑，而不适当的填土方法会导致土壤密实度不足，从而降低其稳定性。工程设计中的不足，如未充分考虑地质和水文条件，也会导致边坡在未来运营过程中出现问题。材料选择也至关重要，使用低质量或不适宜的材料会缩短边坡的使用寿命和稳定性。

##### 3. 自然因素

自然因素，如气候变化、极端天气事件和植被变化，对高边坡的稳定性也有显著影响。长期的降雨、洪水或快速的冻融周期都会导致边坡不稳定。降雨尤其具有破坏性，因为它不仅增加边坡重量，还会改变土壤结构，减少摩擦力。极端天气事件，如飓风和地震，可以在短时间内对边坡造成严重破坏。此外，植被的变化也对边坡稳定性有重要影响。植被可以通过其根系加固土壤，减少侵蚀。然而，植被覆盖的减少或变化削弱这种保护作用，增加边坡失稳的风险。

#### （三）高边坡问题的危害

##### 1. 交通安全风险

高边坡问题对交通安全构成严重威胁。边坡的不稳定性会导致岩石或土体滑落，这些滑坡事件会直接阻塞交通，造成严重的交通事故。在高速公路上，这种突发的道路阻塞特别危险，因为高速行驶的车辆来不及应对突如其来的障碍物。此外，边坡崩塌还会损坏道路本身，导致路面不平或产生裂缝，进一步增加交通事故的风险。在恶劣天气条件下，如暴雨或雪崩，高边坡的风

险进一步增加，导致交通安全风险急剧上升。

## 2. 经济损失

高边坡的问题还会导致巨大的经济损失。首先，边坡的崩塌或滑坡需要紧急维修，这不仅包括清除道路障碍物的成本，还包括修复道路损害的费用。此外，这些事件通常导致交通中断，影响货物和人员的运输，从而对当地经济产生负面影响。尤其是对于依赖道路运输的地区，这种影响特别显著。在某些情况下，长期的道路封闭会导致商业活动减少，影响当地经济发展。此外，高边坡问题还会增加保险和诉讼成本，特别是在发生交通事故或财产损失时。

## 3. 环境影响

高边坡的不稳定性和相关问题对环境也有显著影响。边坡的滑坡和崩塌会导致自然栖息地的破坏，影响野生动植物。这些事件会改变土壤结构，导致生态系统的失衡。例如，边坡崩塌会阻塞河流，改变水流模式，影响水生生态系统。土壤侵蚀也会导致河流和湖泊的污染，影响水质和生物多样性。此外，边坡的不稳定性会增加水土流失，导致肥沃土地的减少，影响农业生产。在更广泛的范围内，这些环境影响会导致生态系统服务的损失，如净化空气和水、支持生物多样性等。因此，考虑到其对环境的影响，高边坡的稳定性和维护是一个重要的环境保护问题<sup>[2]</sup>。

## 二、高速公路路基高边坡防护方法

### （一）传统防护方法

在高速公路路基高边坡防护中，传统的防护方法依然发挥着重要作用。这些方法主要包括护坡、植被覆盖和加固结构。护坡通常采用石砌或混凝土块来物理加固边坡，减少水土流失和防止土壤侵蚀。这种方法能有效地提升边坡的稳定性，特别是在遇到降水或流水冲刷的情况下。植被覆盖则是一种生态友好的方法，通过种植草本植物或灌木来固定土壤，增强边坡的天然稳定性。植被的根系能够穿透土壤，形成一个天然的加固网络，同时也能够吸收水分，减少土壤的饱和度，进一步降低滑坡的风险。此外，加固结构，如挡土墙、支撑柱和锚固系统，也被广泛应用于边坡稳定化。这些结构提供额外的物理支撑，帮助抵抗重力和环境因素对边坡稳定性的影响。这些传统防护方法的选择和应用需根据边坡的具体地质条件、环境特征和预算限制综合考虑，以确保最大限度地效果和经济效益。虽然这些方法在某些情况下不如现代技术那样高效，但其可靠性和经济性在许多工程项目中仍然是首选。

### （二）现代防护方法

#### 1. 技术监测与预警系统

现代高速公路路基高边坡防护策略中，技术监测与预警系统扮演着核心角色。这些系统通过集成先进的传感器技术、卫星遥感、地理信息系统（GIS）和实时数据处理，提供对高边坡稳定性的连续和精确监测。传感器技术，包括倾斜计、应变计和水位计，安装在关键位

置监测边坡的微小移动、裂缝发展和水分变化。这些数据实时传输至中央监控系统，通过专业分析软件进行处理和分析，可以及时发现任何潜在的稳定性问题。卫星遥感技术则提供宏观视角，能够监测较大范围内的地形变化和植被状况，有助于评估边坡在更广泛环境因素下的反应。结合GIS，专家可以在详细的地图上可视化边坡状况，辅助决策制定和风险评估。此外，预警系统的引入极大地提高应急响应的效率。在检测到边坡稳定性的显著变化时，系统能够自动触发警报，通知相关部门及时采取措施，从而极大地减少因延迟响应导致的风险和损失。这种整合多种技术的监测和预警系统，不仅能提高边坡管理的精确性和效率，还能增强对未来潜在问题的预测能力。

#### 2. 地质工程方法

在现代高速公路路基高边坡防护中，地质工程方法起着至关重要的作用。这些方法涉及使用先进的工程技术和地质知识来增强边坡的稳定性。地质工程方法包括土钉墙系统、锚杆支撑、土体加固和深层排水技术等。土钉墙系统通过将钢筋或其他坚固材料插入边坡中，增强土体的整体稳定性，有效地抵抗重力和环境压力。锚杆支撑则通过在边坡上安装拉力锚杆，提供额外的支撑力，以防止边坡滑动。土体加固包括使用化学灌浆或加入特殊材料（如水泥或聚合物）来增强土壤的结构强度。深层排水技术，如垂直排水井或水平排水沟，被用于降低土壤中的水分含量，减少水压对边坡的影响。这些技术的运用需要基于详细的地质调查和工程分析，确保针对性和有效性。此外，随着科技的进步，新材料和技术不断涌现，例如使用生物技术加固土壤，或采用智能材料来改善排水和加固效果。这些地质工程方法的综合应用，显著提高高边坡的稳定性和安全性，为高速公路工程提供更可靠的防护措施。通过精确的设计和和实施，这些方法不仅能增加边坡的安全系数，还能延长其使用寿命。

#### 3. 数值模拟与分析

数值模拟与分析在现代高速公路路基高边坡防护中扮演极为关键的角色。这种方法涉及运用先进的计算模型和算法来模拟边坡在各种环境和负荷条件下的行为。通过数值模拟，工程师能够在计算机环境中重现边坡的物理和化学特性，从而预测其在实际条件下的反应和稳定性。这些模拟涵盖诸如降雨入渗、地下水流动、土壤和岩石的应力-应变关系等多种因素。数值分析还能够考虑到长期环境变化的影响，如气候变化、地质演变和人类活动。这样的分析对于理解和评估边坡面临的风险至关重要，能帮助工程师在边坡设计和施工前做出更为科学和合理的决策。此外，数值模拟也是检验和优化边坡防护方案的有效工具。通过模拟不同的防护措施，如排水系统的布置或加固结构的设计，可以预先评估这些措施的效果，确保防护方案的最优化。随着计算技术的不断发展，数值模拟和分析的精度和复杂性也在不断

提高,使得这些方法成为高边坡防护工程中不可或缺的一部分。尤其是在复杂的地质环境和严峻的工程挑战面前,数值模拟与分析提供一个强有力的工具,用以确保边坡的稳定性和安全性<sup>[3]</sup>。

### 三、高速公路路基高边坡防护的新技术和趋势

#### (一) 新材料的应用

在高速公路路基高边坡防护领域,新材料的应用正日益成为一种重要趋势。这些新材料包括高分子材料、纳米材料、以及生态友好型复合材料,这些新材料被设计用于提高边坡稳定性和延长其寿命。高分子材料,如聚合物格栅,被广泛用于加强土壤,防止侵蚀和提高边坡的承载能力。纳米材料则因其出色的强度和耐久性,被用于加固斜坡表面或作为复合材料的组成部分。这些材料的微观结构能增强土体稳定性和防止水土流失方面表现卓越。此外,生态友好型复合材料,如利用再生材料和自然纤维制成的生物工程材料,也被用于边坡防护。这些材料不仅效果显著,而且对环境影响小,有助于实现工程项目的可持续发展目标。

#### (二) 先进监测与预警技术

先进的监测与预警技术正在改变高速公路路基高边坡的防护方式。现代技术如无人机监测、地面穿透雷达和智能传感器的应用,大幅提高边坡监测的效率和准确性。无人机技术能够提供高边坡区域的高分辨率影像,帮助识别微小的地形变化和潜在的滑坡迹象。地面穿透雷达能够深入分析土壤和岩石层,检测潜在的空洞和裂缝。智能传感器则能实时监测边坡的移动、湿度变化和裂缝扩展,及时传输数据至中央监控系统。这些技术不仅能提高监测工作的安全性和覆盖范围,还能使得预警系统更加精准和及时。随着物联网和大数据技术的发展,这些监测工具能够更好地整合和分析数据,提供更全面的风险评估和预警服务。

#### (三) 可持续发展和环保防护方法

可持续发展和环保防护方法正日益成为高速公路路基高边坡防护的重要趋势。这些方法包括生态工程技术和循环经济原则的应用,旨在减少工程对环境的影响,同时提高防护效果。生态工程技术,如使用本土植被和生物工程技术,不仅能够防止水土流失,还能够恢复和保护当地生态系统。例如,通过种植适应当地环境的植物,可以创建一个既稳定又生态友好的边坡环境。循环经济原则的应用则体现在使用可回收或可降解的材料进行边坡防护,减少对环境的负担。此外,考虑到长期的环境影响和资源使用效率,这些方法还包括对边坡防护工程的全生命周期评估<sup>[4]</sup>。

### 四、高速公路路基高边坡防护的管理与维护

#### (一) 防护系统的管理

高速公路路基高边坡的有效防护离不开系统性的管理策略。防护系统的管理涉及定期的检查和维护,以确

保所有防护措施如预期般运行。这包括对护坡结构、排水系统、植被覆盖以及任何加固装置的定期检查。重点是及时发现并修复任何损坏或磨损,避免小问题演变成大问题。例如,排水沟的堵塞或植被的过度生长会导致水流不畅,增加边坡失稳的风险。除常规维护,应急处理措施也是防护系统管理的重要组成部分。这涉及制定详细的应急预案,以便在边坡稳定性受到威胁时迅速响应。这些预案应包括紧急疏散路线、临时交通控制措施以及快速修复策略。此外,对工作人员进行定期培训,确保工作人员了解最新的防护技术和应急响应程序,对提升防护系统的整体效能至关重要。

#### (二) 数据管理与分析

数据管理与分析在高速公路路基高边坡防护的管理中扮演着至关重要的角色。随着监测技术的进步,收集到的数据量日益增多,包括从传感器、无人机、卫星图像等来源获取的数据。有效管理这些数据对于提高边坡防护的效率和准确性至关重要。数据管理首先涉及确保数据的准确收集、存储和备份。这需要使用可靠的数据库系统,以及确保数据的安全性和隐私保护。随后,通过专业的数据分析软件,可以对收集到的数据进行深入分析,以识别潜在的风险模式和趋势。例如,通过分析边坡移动数据和降雨记录,可以预测某些边坡在特定条件下的滑坡风险。此外,数据分析还可以用于评估现有防护措施的效果,指导未来的改进和优化。最终,将这些分析结果应用于决策支持系统中,可以帮助管理人员做出更加科学和合理的决策,以提高边坡的安全性和防护效率<sup>[5]</sup>。

### 结语

高速公路路基高边坡防护措施的应用揭示了在保障道路安全与稳定性方面的重要性。随着技术的发展,从传统的物理防护到现代的技术监测、新材料的应用,再到数据管理的优化,每一步都显示在高边坡防护领域的创新与进步。这些研究不仅能提升防护效果,还能确保环境的可持续性和经济的效益。未来,随着新技术的不断涌现,高速公路路基高边坡的防护措施将继续向更高效、更环保的方向发展,为公路安全提供坚实的保障。

### 参考文献

- [1] 杨发顺,许诚,马国亮.公路路基边坡防护设计[J].交通世界,2019(30):54-55.
- [2] 潘祖高,陈建.分析公路路基高边坡防护设计[J].黑龙江交通科技,2020,43(4):25-26.
- [3] 蔺港.公路路基高边坡防护设计分析[J].交通世界,2019(22):66-67.
- [4] 要启亮.黄土路基高边坡稳定性分析及生态防护技术研究[J].山西交通科技,2018(3):24-26,56.
- [5] 赵龙海.对高速公路高边坡防护工程施工技术的分析与研究[J].绿色环保建材,2020(06):145+149.