

# 降雨入渗条件下道路工程路基边坡稳定性分析及治理研究

吴玉龙

浙江省水利水电勘测设计院有限责任公司

DOI:10.12238/etd.v6i4.15467

**[摘要]** 随着我国道路工程的不断发展,路基边坡在降雨入渗条件下的稳定性成为一个关键问题。本文详细阐述了降雨入渗对道路工程路基边坡稳定性的影响,分析了降雨入渗的路径、水量等因素。通过对路基边坡稳定性分析方法(如极限平衡法、有限元法等)的研究,确定影响稳定性的关键因素,如土体的力学性质、坡度、边坡高度等。同时探讨了降雨入渗导致路基边坡失稳的主要机制,包括孔隙水压力上升、土体重力增加等。最后针对不同的影响因素提出了相应的治理措施,如合理的坡面防护、排水系统的设计、植被修复等,以提高道路工程路基边坡在降雨入渗条件下的稳定性,保障道路的安全运行。

**[关键词]** 降雨入渗; 道路工程; 路基边坡; 稳定性分析; 治理措施

中图分类号: U41 文献标识码: A

## Research on Stability Analysis and Treatment of Roadbed Slope in Road Engineering under Rainfall Infiltration Conditions

Yulong Wu

Zhejiang Water Resources and Hydropower Survey and Design Institute Co., Ltd

**[Abstract]** With the continuous development of road engineering in China, the stability of roadbed slopes under rainfall infiltration conditions has become a key issue. This article elaborates on the impact of rainfall infiltration on the stability of roadbed slopes in road engineering, and analyzes factors such as the path and amount of rainfall infiltration. Through the study of stability analysis methods for roadbed slopes, such as limit equilibrium method, finite element method, etc., the key factors affecting stability are determined, such as the mechanical properties of the soil, slope gradient, slope height, etc. At the same time, the main mechanisms of instability of roadbed slopes caused by rainfall infiltration were explored, including the increase in pore water pressure and soil gravity. Finally, corresponding governance measures were proposed for different influencing factors, such as reasonable slope protection, drainage system design, vegetation restoration, etc., to improve the stability of road engineering subgrade slopes under rainfall infiltration conditions and ensure the safe operation of roads.

**[Key words]** Rainfall infiltration; Road engineering; Roadbed slope; Stability analysis; Governance measures

### 引言

道路工程作为国民经济发展中不可或缺的一部分,扮演着至关重要的角色。它不仅为社会的交通流动提供了便利,而且是确保经济活动顺畅进行的基础性设施。在这些基础设施中,路基边坡的稳定性是确保道路安全、耐久以及发挥其应有使用功能的关键因素。路基边坡一旦出现稳定性问题,可能会导致道路损坏,甚至引发严重的交通事故,对人民的生命财产安全构成威胁。因此,路基边坡的稳定性问题一直是道路工程领域研究的重点之一。在众多影响路基边坡稳定性的自然因素中,降雨入渗尤其值得关注。降雨入渗是指雨水通过地表渗透进入土壤的过程,这一过程会导致路基边坡土体的含水量显著增加。随着水分的

渗入,土体的力学性质会发生变化,例如,土体的抗剪强度会降低,重量会增加,这些变化最终会降低边坡的抗滑力。当抗滑力降低到一定程度时,边坡就可能失去稳定性,从而引发滑坡等灾害性事件。因此,深入研究在降雨入渗条件下道路工程路基边坡的稳定性分析及相应的治理措施,对于预防和减轻滑坡灾害,保障道路安全运行具有极其重要的现实意义。这不仅有助于提高道路工程的设计和施工质量,还能为相关部门提供科学的决策依据,从而有效减少因边坡失稳带来的经济损失和社会影响。

### 1 降雨入渗对道路工程路基边坡稳定性的影响

#### 1.1 降雨入渗路径

当降雨到达坡面时, 它会沿着各种不同的路径向坡体内部渗透。如果坡面上存在一些阻滞坡面径流的因素, 例如在低洼的区域或者那些被植被覆盖的地方, 降雨可能会沿着植被根系之间的空隙, 或者坡面局部的不平整处深入坡体。而在那些没有植被覆盖的坡面, 降雨会直接打在坡面上, 其中一部分会形成坡面径流而流失, 而另一部分则会透过坡面的土体开始入渗。在那些土质较为疏松且具有一定坡度的边坡处, 降雨入渗的速度可能会变得更快, 从而形成较大且较深的入渗通道。

### 1.2 降雨入渗水量的影响

降雨入渗会使边坡土体的含水量增加, 根据重量公式, 土体重量与含水量呈正相关。随着含水量的增加, 土体重力增大, 在边坡稳定分析的力学平衡体系中, 下滑力增大。例如, 对于饱和土与干燥土相比, 饱和土的重量明显增大, 在边坡稳定计算中会明显改变力的平衡状态。

对于黏性土, 降雨入渗会使土体结构发生变化。入渗初期, 由于水分子的作用, 在土颗粒之间形成薄水膜, 产生膨胀效应, 使土体的孔隙比增大。这种膨胀可能会撑开土颗粒之间的连接, 导致土体的抗剪强度降低。

对于砂性土, 降雨入渗可能会引起孔隙水压力的变化。当降雨入渗速度大于土体的排水速度时, 孔隙水压力上升。在砂性土边坡中, 孔隙水压力的上升会使土体的有效应力减小, 进而降低土体的抗剪强度, 并且孔隙水压力的波动还可能引发土体的液化现象, 严重影响边坡的稳定性。

## 2 降雨入渗条件下路基边坡稳定性分析方法

### 2.1 极限平衡法

极限平衡法是将路基边坡视为处于极限平衡状态的土体, 通过建立静力学平衡方程来求解边坡的稳定性系数。它假设土体处于极限平衡状态时, 在滑面上的剪应力达到极限抗剪强度, 滑面上的剪应力由法向力和抗剪强度指标来表示。例如常用的毕肖普(Bishop)法, 通过抗滑力矩与滑动力矩之比来计算稳定性系数, 该方法在一定程度上考虑了滑面任一点的应力状态, 比单纯的瑞典条分法更精确。

极限平衡法虽然应用广泛, 但也存在一些局限性。它是一种简化的分析方法, 没有考虑土体的实际变形过程。在复杂地质条件和多种影响因素存在时, 如降雨入渗导致土体各向异性变化时, 极限平衡法的计算结果可能与实际情况存在偏差。

### 2.2 有限元法

有限元法是基于变分原理对边坡土体进行离散化处理。将连续的土体划分为有限个单元, 每个单元具有自己的节点位移和内力。通过求解整个边坡土体的平衡方程来得到单元的节点位移和应力。在降雨入渗条件下, 有限元法可以考虑土体的非线性特性、孔隙水压力变化以及不同土体材料之间的相互作用。例如, 在模拟降雨入渗过程中, 可以在有限元模型中设置渗透系数、土体吸水与排水等参数来准确地模拟降雨入渗对土体应力和应变的影响。

有限元法的优势在于能够较准确地模拟复杂的边界条件、土

体结构和渗流过程。但它计算成本相对较高, 需要较多的计算资源和较复杂的模型建立过程。而且对于一些地质条件和边坡结构较为简单的情况, 有限元法可能会显得过于复杂。

## 3 降雨入渗导致道路工程路基边坡失稳的机制

### 3.1 孔隙水压力变化

降雨入渗过程中, 水分进入孔隙, 使孔隙内的水压力增加。当孔隙水压力增大到一定程度时, 会抵消土颗粒之间的有效应力, 使土体的抗剪强度显著降低。在边坡上, 这种抗剪强度的降低使得滑动力相对于抗滑力增大, 从而容易导致边坡失稳。

对于新近堆积或松散的土体, 由于其孔隙率较大, 降雨入渗后孔隙水压力的升高更为明显。而且如果边坡存在软弱夹层, 在孔隙水压力的作用下, 软弱夹层可能会被浸泡和软化, 进一步破坏边坡的结构完整性。

### 3.2 土体重量的增加

正如之前所讨论的, 降雨入渗导致土体含水量的增加, 进而使得土体的重量有所上升。在重力的作用下, 这种重量的增加会导致边坡土体的下滑力相应增大。对于那些较长的路基边坡或者高度较高的边坡而言, 土体重量的增加对边坡稳定性的影响尤为显著, 这一点不容忽视。

### 3.3 滑面的软化现象

降雨入渗之后, 滑面的土体长时间处于水的浸泡之中, 这导致土体颗粒之间的黏聚力逐渐降低。原本干燥或半干燥状态的土体, 在水的作用下转变为湿润状态, 其强度指标也会随之发生显著的变化。以黏土类土体为例, 其黏聚力和内摩擦角可能会降低30%到50%, 甚至更多。这种强度指标的下降, 在一定程度上削弱了边坡的稳定性, 增加了滑坡的风险。

## 4 降雨入渗条件下道路工程路基边坡稳定性治理措施

### 4.1 坡面防护措施

采用浆砌片石或干砌片石对路基边坡进行防护。这种防护方式可以有效阻止雨水直接冲刷坡面, 减少坡面水分入渗。砌石之间相互咬合紧密, 能够承受一定的水流冲刷力。对于土质较差且易被雨水侵蚀的边坡, 砌石防护能够起到较好的保护作用。

植被可以通过其根系对边坡土体进行加固, 同时植被的枝叶可以减缓雨水对坡面的冲击力。根系在生长过程中深入土体内部, 形成网状结构, 提高土体的抗剪强度。而且植被可以截留部分降雨, 减少降雨入渗量。在选择植被种类时, 要考虑当地的土壤、气候条件等因素, 如在中原地区可以选择狗牙根、高羊茅等草种与刺槐、柳树等乔木搭配进行植被恢复。

### 4.2 排水系统设置

设置坡面截水沟, 将坡顶和坡面集水迅速排除, 防止雨水在坡面长时间停留而入渗。截水沟的位置应根据坡面地形和降雨流向合理确定, 一般应设置在坡顶边缘或距离坡顶边缘一定距离处。在坡面还需设置排水沟, 将雨水有序地引至指定的排水区域。坡面排水沟的设计要考虑排水能力和水流速度, 避免出现积水或者冲刷现象。

采用砂井、塑料排水板等渗排水设施将地下水排出坡体。砂井的直径、间距等参数要根据坡体的土体性质、地下水位进行设计。塑料排水板具有施工简单、排水速度快等优点,适用于软土地基边坡排水。地下排水设施能够降低地下水位,减小降雨入渗对边坡的影响,提高边坡的稳定性。

#### 4.3 边坡加固措施

通过使用锚杆技术,可以将坡体表层的岩土体与深层的稳定岩体或土体紧密连接起来,从而显著提升坡体的抗滑能力。在进行边坡加固的设计和施工过程中,必须仔细考虑锚杆的长度、直径、锚固角度以及锚固力等多个关键参数。锚杆的长度需要足够长,以确保能够穿透那些不稳定的土层,并且深入到下方的稳定基岩或土层之中。至于锚固力的确定,则需要基于边坡的稳定性分析以及受力情况进行精确的计算,通常情况下,我们会通过试验来确定锚杆与土体之间的粘结强度。

挡土墙作为一种有效的边坡加固手段,能够有效地阻挡边坡土体的滑动趋势。在选择适合的挡土墙类型时,必须综合考虑边坡的地形、地质条件以及其他相关因素。例如,重力式挡土墙通常适用于小型边坡,并且在地基条件较好且不需要设置地下结构物的情况下使用;而悬臂式挡土墙和扶臂式挡土墙则更适用于地基较窄或高边坡的加固工程。

#### 4.4 土体改良措施

对于那些土质较差的路基边坡,通过掺加水泥、石灰、粉煤灰等固化剂,可以有效地改善土体的性能。这些固化剂与土壤中的水分、矿物质发生化学反应,从而提高土体的强度和刚度。以水泥固化为例,它可以将黏土转变为具有一定强度的水泥土,在边坡工程中,根据边坡土体的具体性质和工程设计要求来确定固化剂的掺量和固化工艺。

近年来,随着科技的进步,一些新型的土体改良材料,如微生物固化材料,开始被广泛应用于道路工程领域。微生物固化技术利用微生物代谢过程中产生的酶,促使土壤中的矿物质沉淀,

形成具有胶凝性质的沉淀物,进而提高土体的强度和抗变形能力。这种材料不仅环保,而且具有可持续性,为边坡土体改良提供了新的、更为科学和环保的选择。

## 5 结论

降雨入渗对道路工程路基边坡稳定性有着重要的影响。为了深入分析降雨入渗条件下的边坡稳定性,必须综合考虑降雨入渗的路径、水量等多种因素,并采用合适的稳定性分析方法。降雨入渗导致边坡失稳的机制主要包括孔隙水压力的变化、土体重量的增加和滑面的软化等。针对这些因素,可以采取坡面防护、排水系统设置、边坡加固和土体改良等措施来提高路基边坡的稳定性。在实际的道路工程建设中,应结合具体的工程地质条件和气候特点,综合考虑各种措施的适用性和经济性,以确保道路工程的安全可靠运行。此外,还需要对降雨入渗过程进行模拟和预测,以便更好地理解其对边坡稳定性的影响。通过建立数学模型和计算机模拟,可以更精确地评估降雨入渗对边坡稳定性的影响程度,并为设计更有效的防护措施提供科学依据。同时,监测降雨和边坡响应的实时数据,对于及时发现潜在的稳定性问题和采取预防措施也至关重要。

## [参考文献]

- [1] 段瑞. 不同降雨强度下边坡降雨入渗数值模拟[J]. 交通世界, 2024, (10): 91-94.
- [2] 黄玉纯. 降雨入渗对土工格室加筋路基动力响应的影响研究[J]. 公路交通科技, 2023, 40(11): 61-71.
- [3] 薛茂强. 降雨入渗条件下锚杆支护高边坡稳定性分析[J]. 中国新技术新产品, 2023, (19): 111-113.
- [4] 张海蛟. 降雨入渗过程中公路边坡含水状态变化研究[J]. 黑龙江交通科技, 2023, 46(04): 27-29.

## 作者简介:

吴玉龙(1993--),男,汉族,黑龙江绥化市人,本科,工程师,研究方向:公路工程技术研究。