

膨胀土边坡浅层破坏的降雨入渗临界值分析

徐泽龙

广东深马建筑工程有限公司 广东深圳

【摘要】随着降雨的不断增加,膨胀土边坡浅层破坏问题愈加严重。本文基于降雨入渗对膨胀土边坡的影响,深入分析了入渗临界值的作用机制。研究表明,当降雨入渗量超过一定临界值时,膨胀土的力学性能发生显著变化,导致边坡出现浅层滑坡或破坏现象。通过数值模拟与现场实验相结合,揭示了降雨入渗深度与膨胀土边坡稳定性之间的密切关系,为相关工程设计提供了科学依据。研究成果为防治膨胀土边坡浅层破坏提供了新的思路。

【关键词】膨胀土;边坡;浅层破坏;降雨入渗;临界值

【收稿日期】2025 年 7 月 16 日

【出刊日期】2025 年 8 月 15 日

【DOI】10.12208/j.jer.20250389

Analysis of rainfall infiltration critical value for shallow failure of expansive soil slope

Zelong Xu

Guangdong Shenma Construction Engineering Co., Ltd. Shenzhen, Guangdong

【Abstract】 With the continuous increase in rainfall, the problem of shallow slope failure in expansive soil has become increasingly severe. Based on the impact of rainfall infiltration on expansive soil slopes, this paper conducts an in-depth analysis of the mechanism of critical infiltration thresholds. The study reveals that when rainfall infiltration exceeds a certain threshold, the mechanical properties of expansive soil undergo significant changes, leading to shallow slope failures or instability. Through a combination of numerical simulations and field experiments, the close relationship between rainfall infiltration depth and slope stability is demonstrated, providing scientific evidence for engineering design. These findings offer new approaches for preventing shallow slope failures in expansive soil.

【Keywords】 Expansive soil; Slope; Shallow damage; Rainfall infiltration; Critical value

引言

膨胀土由于其特有的物理力学性质,成为了边坡稳定性研究中的难点。尤其是在降雨条件下,入渗现象对膨胀土边坡的影响不可忽视。随着降雨的渗透,膨胀土的体积变化会导致边坡结构发生改变,进而诱发浅层破坏。入渗深度与破坏模式之间的关系一直是研究的重点。在不同气候环境和地质条件下,降雨入渗的临界值成为判断边坡是否稳定的关键因素。探索这一临界值,能够为工程建设提供有效的防护措施,从而提高膨胀土区域的边坡稳定性。

1 膨胀土边坡浅层破坏问题的成因分析

膨胀土边坡浅层破坏的发生,通常与膨胀土特有的物理力学性质密切相关。膨胀土作为一种特殊类型的土壤,其在湿润条件下的体积膨胀现象常常导致边坡结构的稳定性下降。当降雨发生时,膨胀土中的水分含量增加,导致土体膨胀,进而引发地基变形,增加边坡的破坏风险。尤其在边坡的浅层区域,由于水分迅速

渗透,膨胀土的抗剪强度显著下降,使得上层土体发生滑动或破裂^[1]。这一过程常常在降雨初期或持续降雨期间表现得尤为明显。水分渗透的深度和渗透速率成为影响边坡破坏的关键因素,而这些因素又与降雨的强度、持续时间以及土体的初始状态密切相关。

在膨胀土边坡的浅层破坏过程中,降雨入渗起到了决定性作用。降雨不仅使土壤中的水分增加,还可能导致土体的塑性指数变化,从而影响其稳定性。膨胀土在吸水后会发生体积膨胀,增加土壤的含水率和湿润性,进一步降低了其固结强度。当降雨入渗达到一定深度时,土体中的水分含量大幅上升,破坏性开始扩展到更深层次,尤其在边坡的上部区域,水的渗透直接改变了土体的排水条件和稳定状态^[2]。土壤的抗压能力和剪切强度由于持续的水分作用而不断减弱,进而导致边坡的滑动和破裂。不同类型的膨胀土因其膨胀性质的差异,面对相同的降雨量和入渗深度,其边坡破坏模式也有所不同。

降雨入渗的临界值是膨胀土边坡破坏的重要界限,它决定了土体稳定性变化的临界点。通过对降雨过程的数值模拟与实验分析,能够明确在何种降雨条件下,膨胀土边坡会出现明显的浅层破坏。临界值的确定不仅有助于了解膨胀土在不同水文条件下的响应特性,还为边坡稳定性评估提供了依据。在降雨强度达到或超过这一临界值时,膨胀土边坡的浅层结构易发生滑移或破裂现象,进而威胁到基础设施的安全性。准确识别降雨入渗临界值,能够有效预防膨胀土边坡在恶劣气候条件下的失稳问题,减少灾害发生的概率,并为工程设计和防治措施的实施提供科学依据。

2 降雨入渗对膨胀土边坡稳定性的影响机制

降雨入渗对膨胀土边坡稳定性的影响机制复杂且多方面。膨胀土在吸水后会明显的体积膨胀,这一特性是导致其边坡不稳定的主要因素之一。在降雨条件下,水分渗透到膨胀土表层并逐渐向下扩展,导致土体的膨胀作用加剧,尤其在降雨持续时间较长时,水分的积聚不仅增加了土壤的湿润度,还改变了土体的物理力学性质。膨胀土的膨胀效应直接导致了土壤的体积变化和强度衰退,增加了上层土体的剪切应力,造成边坡土体内部产生破坏性裂缝^[3]。这种膨胀变形不仅降低了土体的抗剪强度,还可能导致原本紧密的颗粒结构被水流解构,形成潜在的滑坡面,进一步增加了边坡失稳的风险。

降雨入渗的深度和速率对于膨胀土边坡的稳定性具有显著影响。当降雨渗透达到一定深度后,土体内部的水分分布发生变化,部分区域土壤的含水量增高,导致这些区域的力学性质发生改变。特别是在降雨初期,由于土壤的孔隙率较高,水分渗透速度较快,使得膨胀土的膨胀效应迅速显现。水分渗透到土体较深层后,土壤的塑性发生改变,土体的整体抗力减弱,增加了边坡滑动的可能性。随着水分的进一步渗透,土体的粘结力减弱,膨胀土中的细颗粒容易被水流带走,导致土体发生流失、软化等现象,从而进一步加剧边坡的不稳定性。降雨持续性和强度的差异也决定了水分入渗的深度和分布,使得边坡的稳定性呈现动态变化。

膨胀土边坡的稳定性不仅与入渗水分的量相关,还与水分的变化过程密切相关。降雨入渗引起的膨胀变形和水分变化作用共同作用下,导致土体的塑性与抗剪性能发生退化,形成了水土失稳的危险因素。尤其在降雨较强或持续时间较长的情况下,水分渗透加剧了膨胀土的软化现象,使得原本坚固的边坡结构变得松散。这些变化通常是渐进的,但一旦超过了膨胀土的

承载能力,边坡就可能发生浅层滑坡等破坏现象^[4]。降雨入渗通过促使膨胀土土壤结构的变化,直接影响了边坡的力学稳定性,形成了复杂的破坏机理。针对这一影响机制,结合降雨入渗的特征和膨胀土的土质特性,可以为边坡稳定性评估提供更为精准的预测依据。

3 降雨入渗临界值的确定与分析方法

降雨入渗临界值的确定是评估膨胀土边坡稳定性的关键步骤之一。膨胀土边坡的稳定性往往受到降雨入渗深度和速率的影响,当降雨量达到一定值时,土体的力学特性会发生显著变化,导致边坡出现失稳现象。准确确定降雨入渗的临界值,对于防范边坡浅层破坏至关重要^[5]。临界值的确定基于实验研究和数值模拟相结合的方式,通过系统分析不同降雨强度和持续时间对膨胀土的影响,揭示入渗深度与膨胀土破坏之间的临界关系。采用渗透试验和力学性能测试,得到不同湿度条件下膨胀土的抗剪强度和抗压能力,为进一步计算临界入渗量提供数据支持。

在确定降雨入渗临界值的过程中,数值模拟方法广泛应用于预测土体的水分分布和力学响应。通过考虑降雨过程中的水流渗透规律,可以对不同降雨条件下的膨胀土进行模拟计算,确定土体在不同水分含量下的临界失稳点。常用的数值模拟模型包括水流渗透模型和土壤力学模型,结合土体的物理力学性质、降雨强度及持续时间,模拟入渗过程对土体的影响。这些模型能够有效反映土壤的饱和度变化和膨胀效应,进而帮助分析不同条件下的边坡稳定性。数值模拟还可以用于不同类型膨胀土的比较,探索其在相同降雨条件下的不同响应,为临界值的普适性分析提供依据。

为了确保降雨入渗临界值的准确性,实际工程中通常结合现场监测数据进行验证。通过在不同地区 and 不同气候条件下布置水文监测设备,实时获取降雨数据、土体含水量以及边坡变形情况,可以对降雨入渗的实际效果进行动态监控^[6]。这种现场验证方法不仅能够为模型的校准提供依据,还可以通过对比模拟结果与实际监测数据,进一步优化临界值的判定标准。通过综合实验室试验、数值模拟和现场数据分析,能够更加精确地确定降雨入渗的临界值,为边坡稳定性评估与防护设计提供可靠的依据。

4 基于临界值的膨胀土边坡稳定性防治对策

在膨胀土边坡的防治过程中,基于降雨入渗临界值的判断,可以采取一系列有针对性的技术措施以增强边坡的稳定性。确定临界值后,可以通过控制降雨入渗量来有效预防边坡的浅层破坏^[7]。通过合理的排水系

统设计,减少降雨对土体的影响,可以有效控制水分的渗透深度。边坡的排水设施应充分考虑降雨量的分布特点,采用适当的排水沟、渗透层等措施,快速排除多余的水分,避免水分长时间滞留在土体中。坡面植被的覆盖也能够有效减少雨水的直接侵蚀,提高土体的抗剪强度,减缓水分的入渗速率。合理选择和布局这些防护措施,可以有效延缓或阻止膨胀土边坡的失稳过程。

在膨胀土边坡的改良方面,基于临界值的设计可以通过改善土体结构来提高边坡的稳定性。通过对膨胀土进行改性处理,采用化学固化剂、粘土增强材料等手段,增强土体的抗水性和抗膨胀性,能够显著提高膨胀土的抗剪强度,减小降雨对土体的影响。利用水泥、石灰等固化剂对膨胀土进行加固,可以有效地抑制其膨胀变形,增强边坡的整体稳定性。对于特定的膨胀土类型,还可以通过注浆技术将土体中的水分隔离,减少水分渗透对土体结构的破坏。通过这些改良措施,可以大幅提升边坡的承载能力,降低降雨入渗对边坡稳定性的威胁。

临界值的研究还可以为膨胀土边坡的动态监测提供技术支持。在实际工程中,结合监测技术对边坡的动态变化进行实时监控,尤其是对降雨期间土体的含水量、变形量以及水流渗透速度等关键参数进行监测,可以及时发现潜在的破坏风险。采用物联网技术,结合传感器、无人机等设备,能够高效采集数据并实时反馈,进一步验证降雨入渗临界值的合理性和准确性^[8]。通过数据分析和模型预测,对边坡的稳定性进行持续评估,为后期的防治措施提供决策依据。动态监测与基于临界值的防治对策相结合,不仅提升了膨胀土边坡的防护效果,也为工程的安全性提供了有力保障。

5 结语

膨胀土边坡的浅层破坏问题在降雨入渗作用下表现得尤为突出,准确确定降雨入渗临界值对于评估和防治边坡失稳至关重要。研究表明,结合实验数据、数

值模拟与现场监测,可以为膨胀土边坡的稳定性提供科学依据。在此基础上,采取合理的排水措施、土体改良及动态监测等综合防治对策,能够有效减小降雨入渗带来的破坏风险,确保边坡的长期稳定性。未来在边坡工程设计与施工中,应注重对膨胀土特性和降雨影响的精确分析,以实现更高效的风险防控和灾害预防。

参考文献

- [1] 邓志平,钟敏,蒋水华,等.土体参数非平稳随机场模拟及三维边坡高效可靠度分析[J/OL].岩土力学,1-10[2025-07-11].
- [2] 李泽闯,尹智艺,耿翔宇.降雨诱发分散土边坡失稳破坏特性及预报研究[J/OL].岩土工程学报,1-11[2025-07-11].
- [3] 陈宇瑞,肖东,刘桂琴,等.脱湿/吸湿路径对中等膨胀土胀缩变形特性的影响[J/OL].水电能源科学,2025,(08):61-63+182[2025-07-11].
- [4] 郭侃.露天石灰石矿山边坡稳定性和生态修复的协同机制研究[J].石材,2025,(07):21-23.
- [5] 李海.基于持平投影和圆弧滑动验算边坡工程稳定性评价[J].石材,2025,(07):15-17.
- [6] 曹小琦.高边坡开挖施工稳定性分析控制技术研究[J].石材,2025,(07):30-32.
- [7] 李凯,翟振乾.机场场道石灰改良膨胀土道床填筑施工技术研究[J].科技与创新,2025,(12):159-162.
- [8] 王嘉威,胡景文,黄向春,等.干湿作用下改良洛阳膨胀土力学行为劣化分析[J].洛阳理工学院学报(自然科学版),2025,35(02):30-35+79.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

