

降雨入渗对土质边坡稳定性影响

周期¹ 王孟* 韦伟晗²

广西壮族自治区第六地质队

摘要：土质边坡发生滑坡与坍塌是地质灾害中常见的一种形式，其稳定性受到多种因素的影响。在众多影响因素中，降雨入渗被认为是导致土质边坡发生滑坡与坍塌的主要因素之一。随着气候变化与降雨强度的增加，土质边坡稳定性受到的挑战也越来越大。因此，深入研究降雨入渗对土质边坡稳定性的影响，对于有效预防并减轻土质边坡灾害具有重要意义。在此背景下，本文将简要概述降雨入渗对土质边坡稳定性影响，旨在为土质边坡灾害的防治工作提供新的思路与方法。

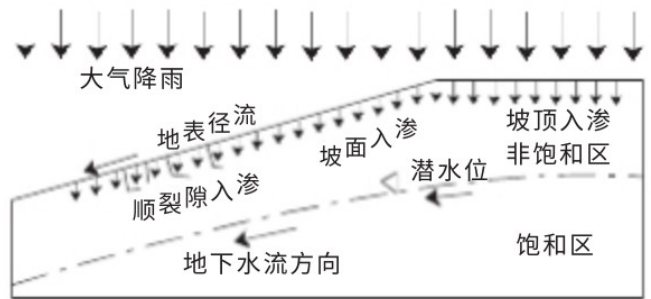
关键词：降雨入渗；土质边坡；稳定性

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.15.088

边坡在多雨季节易发生塌方。在一般条件下，边坡的稳定性较好，但随着多雨季节降雨入渗坡体，某些看似比较安全的边坡，会在汛期失稳而出现滑坡。大量的野外观测资料显示，大部分土质边坡失稳出现在降雨期间或降雨之后，由此可以看出，雨水渗透对土坡稳定的影响是非常显著的。通过分析对比大量野外观测及地质资料，人们逐渐意识到，多雨季节边坡发生滑坡、泥石流等地质灾害大都是由土体中水的渗流作用引起的，一方面是由于雨水的入渗等引起了上部非饱和区土体孔隙水压力的上升，引起了附加的水载荷，另一方面是由于水的作用使土体自身的抗剪强度下降。

一、边坡降雨入渗模式

降雨入渗是一个包含坡顶入渗、坡面入渗、顺裂缝入渗、裂缝向土体渗透以及自重作用下土体内部渗透等多个环节的复杂过程，如图一“边坡降雨入渗示意图”所示。在高渗透性条件下，雨水极易从浅层非饱和区向深层饱和区及孔隙水压力较低的地段渗透，同时雨水则会不断进行补充，形成稳定渗流。降雨条件下，降雨对土质边坡的破坏主要有两种：一是降雨使表层土体快速饱和，增加了土体的含水率，并产生坡面流；二是雨水进入边坡后，改变了渗流场，增加了动、静水压力，并在此基础上形成了相应的渗流压力，同时土体的抗剪强度也会减小，在土体强度降低与外部渗流力增加的双重影响下，土质边坡稳定性会大幅降低，极易诱发滑坡事故。因此，掌握边坡降雨入渗过程中的水流运动模式，是开展边坡降雨入渗机理研究和边坡稳定研究的基础^[1]。



图一：边坡降雨入渗示意图

二、降雨入渗与边坡稳定性的关联

(一) 渗透

降雨入渗与边坡稳定性的关联一直是岩土工程领域的重要研究课题。降水入渗是雨水经表层渗入到深层土体中的一个过程，雨水渗入土体后，将引起土体内部孔隙水压力以及摩擦系数的变化，进而对边坡稳定性产生不利影响。在边坡工程中，由于雨水的入渗作用，会使土体含水量增大，导致土体重度增大、土质变软、抗剪强度降低，大大增加了滑坡的风险，尤其是长期降雨或突发强降雨天气，对边坡的稳定构成了极大的威胁。为更好地评价降雨条件下的边坡稳定性，岩土工程技术人员往往通过对土质边坡进行详细的勘察，通过对降雨入渗量、土体渗透系数、土质边坡坡度等因素的研究，运用不同的数学模型与边界条件，评价在不同降雨条件下的边坡的稳定性，研究边坡失稳机理，提出边坡加固、促进排水等防治对策，保证边坡的安全稳定。

(二) 侵蚀

随着雨水的不断渗入，边坡土体的含水量不断增大，其重度也越来越大，不断增大的自重荷载会降低边坡的稳定性，尤其是在长期的降水作用下，由于含水量过大，同时在雨水的不断冲刷侵蚀下，土质边坡坡面以及上部浅层土体的孔隙增大，土质容易发生疏松，进而造成水土流失与侵蚀加剧。在坡面上，除土体容重增大以外，雨水入渗对土体的结构性也有一定的影响，在水的影响下，土体中的物质会产生运动与再分配，部分细小土颗粒会被水流带走，进而导致土体的物理特性发生变化，这样的改变将引起土体的力学性能下降，从而危及边坡的稳定。了解降雨入渗造成的侵蚀作用与边坡稳定性之间的关联对于边坡工程的设计和管理至关重要，相关工作人员在考虑降雨因素时，应充分评估边坡岩土工程地质性质和特点，采取有效的措施来减轻雨水入

渗侵蚀对边坡稳定性的不利影响，确保工程的安全可靠性^[2]。

（三）稳定性

土质边坡由于降雨入渗，土体中的水分含量不断增大，会导致土体中的孔隙水压力不断增大，局部地段可能发生渗流，根据有效应力原理，总应力不变的情况下，孔隙水压力的增大将导致土体的有效应力下降，从而导致土体的抗剪强度下降。在极端情况下，当有效应力降低到零时，土体将完全丧失强度，无法再承受外部荷载，边坡失稳。同时水的加入也会使土体的渗透特性发生变化，使土体中的渗流场得到加强，当土坡发生顺坡渗流逸出时，边坡的安全系数会大为降低（只有原安全系数的50%-60%），同时渗流也会导致土体被冲蚀。因此，边坡稳定性与降雨入渗之间存在着密切的关联。实际工程应用中，为降低雨水入渗对土质边坡的破坏作用，保证坡体的安全性，必须采取合理的施工技术与治理措施，应加强边坡结构，针对不同类型的坡面，提出不同的排水系统，并对边坡进行周期性的监控，针对发现的问题及时处理，保证在多雨季节和强降雨时仍能维持边坡的稳定性。

三、降雨入渗对边坡稳定性的影响实例分析

以广西北流某一边坡工程为例，研究降雨入渗对边坡稳定性的影响。该边坡为土质边坡，坡体为砾质黏土，边坡走向约125°，倾向约215°。边坡分为2级，每级又分2段：第1级边坡下段高约3m，坡角90°，为人工开挖边坡，未及时支护，上段坡高约7m，坡角约45°；第2级边坡下段坡高约4-5m，坡角约50-70°；上段边坡10-13m，坡角约20-30°；第1级和第2级边坡之间为一平台。在正常情况下，该边坡处于稳定状态，天然状态下土体的重度为18.5kN/m³，c=52kPa， $\phi=23^\circ$ ，边坡稳定系数 $F_s=1.7$ ；在某次连续强降雨后，局部地段土体发生滑塌，此时土体的重度为19.1kN/m³，c=23kPa， $\phi=22^\circ$ ，边坡稳定系数 $F_s=1.0$ ，边坡抗剪强度大幅降低，边坡局部地段已处于临界失稳状态，可见降雨入渗对土质边坡的稳定性有重大不利影响。

在实际工程中，可以通过监测降雨、土体含水率与坡体变形等指标的变化，评价降雨入渗对边坡的影响程度。还可以通过建立数值模型，模拟不同降雨情况下边坡的稳定性表现，进一步探讨采取何种措施来增强边坡的稳定性，如加固工程、排水措施等。综合考虑降雨入渗对边坡稳定性的影响，可以更好地了解边坡在不同气候条件下的变化规律，为边坡工程的设计与管理提供科学依据。因此，以降雨入渗对边坡稳定性的影响进行实例分析，对于保障边坡工程的安全具有重要意义^[3]。

四、降雨入渗对土质边坡稳定性的影响机制

（一）降雨入渗导致土体饱和度增加

在降雨入渗过程中，边坡土体的饱水程度增大，土体中的空隙变大，土体的抗剪强度随之降低。同时，雨水的入渗也会改变土体的流变学特性，在土中渗流作用的水头差达到某一临界值后，会发生流土现象，导致边坡土体丧失承载能力，发生滑塌。由于雨水入渗引起的边坡饱和程度增大，其机理是一个包含了大量孔隙水填充、孔隙水压力改变、流变性等多方面的复杂过程，所以在实际施工中，应综合分析各种影响因素，并提出相应的预防对策，以保证边坡的稳定性与安全性^[4]。

（二）降雨入渗导致土体重度改变

雨水渗入土体后，使土体内部空隙充满水分，从而引起土体重度发生改变。在此过程中，由于水的存在，土体内部空隙首先会被填满，土体中的空隙也随之变大，随着降水不断增加，土体中的水形成压力差，产生渗流，在土体中流动的水，可以使土体内部的作用力发生变化，同时也可能改变土体的结构，从而使土体的重力性质发生变化。受降雨入渗的影响，土体内部的重度的变化，其机理是一个包含了含水量增加、土体颗粒间的作用力变以及土体结构改变等多种因素，共同作用的复杂过程。

（三）降雨入渗导致土体抗剪强度参数变化

了解降雨入渗导致边坡土体抗剪强度参数变化的机制对于边坡工程的设计和施工具有重要意义。在降雨入渗过程中，边坡土体的力学性质发生了改变，其中最重要的是含水量和孔压的改变。在降雨入渗过程中，边坡土体含水量增大，饱和度增大，抗剪强度下降。由于雨水的入渗作用，土体中的孔压增大，有效应力下降，导致土体抗剪强度降低。在多种因素的共同作用下，使得土质边坡土体抗剪强度大大降低，增加边坡发生滑坡的风险。同时由于雨水的入渗作用，使土体发生了一定的变形，也会对土体的稳定产生一定的影响。在边坡工程中，为降低坡体的滑动危险性，保证其安全稳定，必须根据其自身的特性，采取相应的防渗处理方法，以有效提高边坡的稳定性^[5]。

五、优化降雨入渗影响边坡稳定性的策略

（一）强化排水系统

在优化降雨入渗影响边坡稳定性的策略中，加强排水系统是十分必要的。充分的排水可以降低雨水对边坡的不利作用，增强边坡的稳定，抵御汛期强降雨的能力。一般来说，加强排水系统可通过增加排水管网等排水设施的数目及密集程度、对排水管网布设地点及水流方向进行科学合理的设计、利用新的排水材料与工艺来提升排水效果等措施来实现。通过加强排水系统，可以保证雨水能够在暴雨期间被排出，降低其对边坡产生不

良的作用，并将其与边坡稳定分析有机地联系起来。同时，还可以强化对城市道路及公路排水系统的监控与维护，加强对排涝设备的日常巡查，也可在边坡设置足够数量的截水沟、排水沟与排水槽，加速雨水的排放。根据不同的地貌特征及降水条件，进行合理的强化排水系统，实现对边坡水流方向的疏导，降低坡面的冲刷与侵蚀，能够有效地增强降雨入渗作用下边坡的稳定性，降低由于降水入渗引起的地质灾害，进一步提高边坡的抗水性与稳定性，保证人民群众的生命与财产安全。

（二）加强植被覆盖

在边坡加强植被覆盖是解决边坡稳定问题的重要途径。植被覆盖是保持边坡稳定的一种自然防护措施，可以有效地减轻降雨对坡面的侵蚀，从而减小坡体失稳的危险。同时，植物的根系还能增强土体的抗冲蚀性能，在一定程度上增强了边坡的稳定。在加强植被覆盖时，应注意挑选适宜当地环境的植物品种，做好植物的日常养护工作，使植物能够正常地成长，避免疾病、害虫等的侵害，保证植被可以高效地成长。同时，还可以通过增加边坡面上植物的多样性，来提高植被覆盖的密度与均匀性，进而达到加强边坡稳定的目的。通过加强植被覆盖并采取有效的管理措施，最大限度地减少降雨入侵对边坡稳定性的影响，维护边坡的安全稳定，促进生态环境的恢复与保护，在提高边坡抗灾能力的同时，为人类与自然的和谐共处提供可持续的解决方案^[6]。

（三）控制坡度高度

在考虑雨水入渗对坡体稳定的影响时，对坡面的坡度与高度进行合理的控制是十分必要的。通过对边坡坡度与高度的适当设置，能够减小由于雨水渗透引起的坡体失稳，进而降低其危险性。适当的坡度可以降低土坡上的土压力，减小土体的应力集中，进而减小边坡失稳的风险，通过合理的坡度设计，可以使斜坡上的压力分布更为均衡，从而减小了不同的应力差对边坡的稳定的不利影响。同时，适当的坡度还有利于雨水迅速排出，降低雨水对土体的冲蚀侵蚀作用，进而改善了斜坡的稳定性。对边坡的高度进行合理的控制是保证边坡稳定的另一个重要措施。当坡体过高时，则会使其土压力增大，增大边坡滑坡的危险性。在进行边坡高度设计时，应结合具体条件对其进行合理的高度控制，以防止边坡太高而影响其稳定性。通过合理控制边坡的坡度与高度，可以有效降低降雨入渗对边坡稳定性的影响，提高边坡的抗滑坡能力，保障工程安全。

（四）定期监测维护

优化雨水入渗作用下边坡的稳定性，对其进行定期监测维护必不可少。对斜坡进行周期性的水文地质条件

监测，能够对滑坡中存在的隐患进行预警，从而保证边坡的稳定。建立完善的监测体系，可以在边坡上埋设各种传感器，如位移传感器、压力传感器和渗透传感器等，对边坡位移和孔隙水压力等参数进行测量。利用该监测系统对滑坡进行实时的观测，能够快速及时地发现边坡的早期变形和孔压变化情况，进行早期的预警，为滑坡的防治工作开展奠定基础。

对边坡进行定期维护是保证边坡稳定的关键，维护工作主要是排水系统的清理、破损的防护结构的修复、松动的土体的加固等，通过定期的维修可维持和提高边坡的稳定性，降低滑坡事故的发生的风险。

根据监测数据与维护情况，及时调整并优化边坡的设计与施工方案也是非常必要的，通过不断地改进与完善方案，能够有效降低灾害发生的可能性，全面提升边坡的稳定性。

结束语：

综上所述，当降雨入渗到土质边坡中时，会对边坡的稳定性产生重大影响。在工程实践中应充分考虑降雨入渗对土质边坡稳定性的影响，并采取相应的防护与加固措施，有效优化在降雨环境下的土质边坡稳定性，从而降低边坡发生滑坡、坍塌等灾害的风险，保证边坡的稳定性，保障人们的生命财产安全，为可持续发展提供保障。

参考文献

- [1] 张乔军. 降雨入渗对土质边坡稳定性影响[J]. 河南水利与南水北调, 2023, 52(08): 142-143.
 - [2] 姜超. 降雨入渗对多层非饱和土边坡稳定性影响[J]. 陕西水利, 2023, (07): 76-78+81.
 - [3] 熊威, 唐少龙, 万小强, 王姣, 虞慧. 降雨入渗对土堤渗流及边坡稳定性影响分析[J]. 江西水利科技, 2022, 48(05): 354-358.
 - [4] 周粲铭, 董旭光, 李峥, 马子涵. 降雨入渗对锚杆加固多级边坡稳定性影响分析[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(28): 12550-12556.
 - [5] 朱志广, 肖成明, 唐林强. 降雨入渗对路堑边坡稳定性的影响分析[J]. 四川水泥, 2022, (09): 211-213.
 - [6] 巫炎鑫. 不同降雨强度对土质边坡稳定性影响数值分析[J]. 福建交通科技, 2022, (08): 25-28.
- 通讯作者简介：王孟，男，汉族，1993年8月，广西桂平人，2016年毕业于华北水利水电大学，地质工程专业，大学本科，中级工程师，主要从事岩土工程勘察。