

基于 FEM 不同降雨强度下边坡稳定性分析

王焕泳, 赵乐静

(浙江省乐清市水利局, 浙江 温州 325600)

摘要:以浙江省某边坡为例,使用有限元方法分析了不同降雨强度下边坡的基质吸力和安全系数的变化。研究结果表明:降雨强度对边坡稳定性有显著影响,降雨强度越大,边坡的安全系数越低。为保证边坡的稳定性,建议采取加固措施,如加强排水、安装护坡网、加固地基、植被恢复等。此外,应当配备监测和预警系统以及及时发现并应对潜在的滑坡风险。

关键词:有限元;降雨强度;边坡稳定性;基质吸力

中图分类号:U213.1+3

文献标志码:B

文章编号:1001-2184(2024)06-0134-04

Slope Stability Analysis under Different Rainfall Intensities Based on FEM

WANG Huanyong, ZHAO Lejing

(Yueqing Water Conservancy Bureau, Wenzhou Zhejiang 325600)

Abstract: This article takes a slope in Zhejiang Province as an example and uses finite element method to analyze the changes in matrix suction and safety coefficient of the slope under different rainfall intensities. The research results indicate that rainfall intensity has a significant impact on slope stability, and the higher the rainfall intensity, the lower the safety factor of the slope. To ensure the stability of the slope, it is recommended to take reinforcement measures, such as strengthening drainage, installing slope protection nets, strengthening foundations, and restoring vegetation. In addition, monitoring and early warning systems should also be equipped to detect and respond to potential landslide risks in a timely manner.

Key words: Finite element; Rainfall intensity; Slope stability; Matrix suction

0 引言

随着全球气候变化的不断加剧,降雨对地质灾害的影响日益凸显。边坡稳定性的失效可能导致滑坡、泥石流等灾害,不仅对人民生命财产构成威胁,还对生态环境造成不可逆的损害。因此,研究降雨条件下边坡稳定性的变化对于地质灾害风险评估和预测至关重要。降雨是引发地质灾害的主要气象因素之一,其对边坡稳定性的影响涉及多个复杂的物理和地质过程。降雨渗透到土壤中,改变了土壤的力学性质,如黏聚力、内摩擦角等,进而影响边坡的抗剪强度和安全系数。此外,降雨还可能导致土壤饱和度增加和水分流动,甚至土壤的流失,进一步削弱了边坡的稳定性^[1-5]。

当前国内外主要通过有限元方法对降雨条件下边坡稳定性进行分析。牟祥会^[6]以国内某地区高 11 m 降雨入渗路堑边坡为例,采用有限元分析计算了变形和地下水流动的时间依赖性;吴培

元等^[7]在降雨状态下进行三维有限元分析边坡的稳定性,从水平位移、竖向位移、边坡稳定系数三个方面进行分析,采用抗滑桩支护边坡和数值模拟降雨状态下支护后边坡的变形和稳定性,验证了支护的有效性;刘超群等^[8]为分析降雨入渗对路基边坡稳定性的影响,考虑渗流场与应力场的耦合效应,采用基于强度折减法的有限元软件分析了降雨量、路基土几何形状和物理性质对边坡稳定性的影响;谢金荣^[9]等采用非饱和土有限元强度降低方法进行高边坡施工稳定性分析,得到了各施工阶段对降雨入渗效果的安全系数和滑动面;楼晓昱等^[10]基于当地实际降雨资料及饱和一非饱和渗流理论,设计 3 种不同的降雨方案,采用有限元软件对算例边坡降雨入渗对孔隙水压力的影响进行了分析。

研究旨在分析不同降雨条件下边坡的基质吸力和安全系数的变化情况,并提出相应的加固措施。通过数值模拟和实地观测,将深入研究降雨

收稿日期:2024-11-22

对边坡稳定性的影响机制,为降雨诱发滑坡风险的评估和应对提供科学依据。这项研究有助于提高边坡工程的安全性,减少地质灾害对人民生活 and 环境的威胁。

1 工程概况

该次研究的土质边坡位于浙江省,长 40 m,高 15 m。坡体主要由黏土组成,边坡顶部为道路,下部为河流,河流流量较小,不对边坡稳定性造成重大影响。目前,该边坡处于稳定状态,但由于周边开发的加剧和降雨等自然因素的影响,边坡的稳定性面临较大问题。

该土质边坡的主要功能是防止道路和附近建筑物被滑坡、泥石流等自然灾害所破坏,同时保护河流沿岸环境,具有重要的地质和生态环境价值。根据现场调查和实验数据,该边坡的黏聚力为 10 kPa,内摩擦角为 30° ,土壤渗透系数为 0.05 m/s。该次研究为保证边坡的稳定性,是否需要采取的工程措施,如对边坡加装钢筋混凝土护坡板、加设排水系统等,本文主要探讨加固前边坡安全系数对降雨的敏感性,为后续加固方案提供参考。

2 数值模型

Abaqus 是一款强大的有限元分析(FEM)软

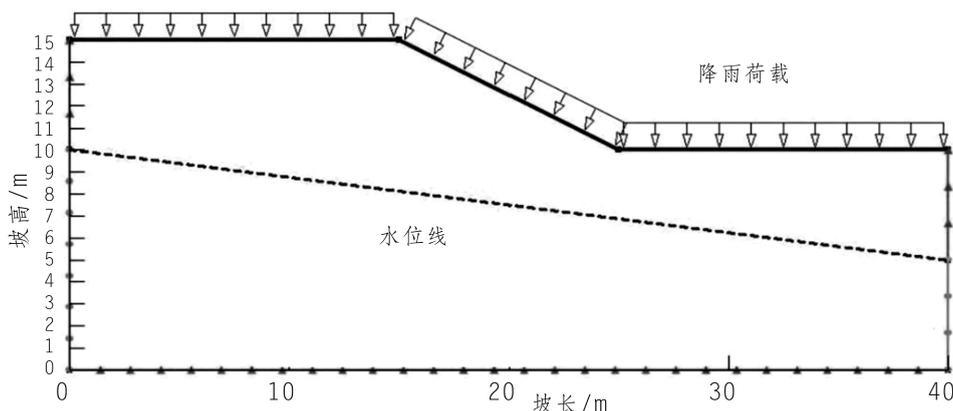


图1 边坡数值模型

3 成果分析

3.1 不同降雨强度下基质吸力变化

图 2 给出了不同降雨时长下,边坡顶部 2 m 处基质吸力变化情况。由图可知,降雨后边坡基质吸力的变化通常可以分为三个阶段:增加期、减少期和平衡期。在增加期,降雨会使得边坡土壤的孔隙水压力增加,进而导致基质吸力增大。同时,水分的浸润也会填充土壤孔隙,进一步增加土

壤的饱和度,从而提高基质吸力。因此,在较短的时间内,基质吸力会随着降雨的增加而逐渐增大。当土壤达到一定饱和度时,随着降雨时间的延长,土壤内部的水分开始流动,而水分的流动会导致孔隙水压力的逐渐消散,进而导致基质吸力的减小。因此,在较长时间内,基质吸力会逐渐减小,这个阶段称为减少期,最后基质吸力会达到一个平衡状态,这个状态称为平衡期。在平衡期内,降

壤的饱和度,从而提高基质吸力。因此,在较短的时间内,基质吸力会随着降雨的增加而逐渐增大。当土壤达到一定饱和度时,随着降雨时间的延长,土壤内部的水分开始流动,而水分的流动会导致孔隙水压力的逐渐消散,进而导致基质吸力的减小。因此,在较长时间内,基质吸力会逐渐减小,这个阶段称为减少期,最后基质吸力会达到一个平衡状态,这个状态称为平衡期。在平衡期内,降

雨的影响逐渐减小,基质吸力基本稳定在一个值。总体上,降雨后边坡基质吸力先增大后减小的变化是由于土壤饱和度随降雨时间的变化而引起的。在降雨初期,基质吸力增大是由于孔隙水压力的增加和土壤饱和度的提高,而随着时间的推移和水分流动,孔隙水压力逐渐消散,土壤饱和度逐渐减小,导致基质吸力减小。

降雨强度越小(3 mm/h),边坡基质吸力的绝对值越大,这是由于在小的降雨强度下,降雨的量也就越小,导致基质吸力也会相应增大。值得一提的是,在降雨后,边坡表面的基质吸力随时间逐渐减小,这可能会对边坡的稳定性造成影响。当基质吸力减小到一定程度时,边坡土体的稳定性将会受到影响,可能导致边坡发生滑坡、塌方等事故。因此,在设计和分析边坡稳定性时,需要考虑降雨后基质吸力的变化以充分评估边坡的稳定性,并采取相应的措施来保证边坡的稳定性和安全性。

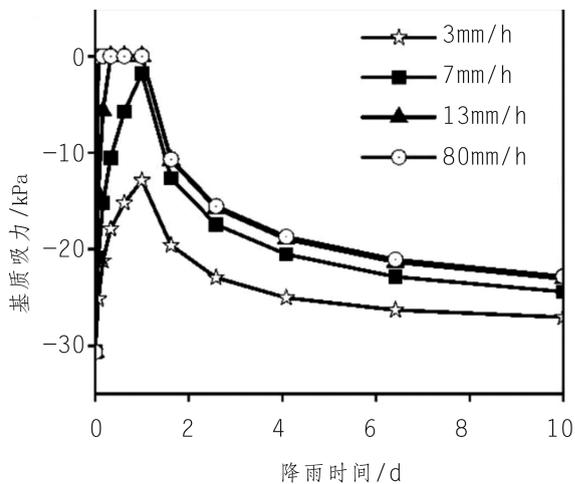


图 2 不同降雨时长下边坡顶部 2 m 处基质吸力变化

3.2 不同降雨强度下边坡安全系数变化

图 3 给出了不同降雨强度下边坡安全系数的变化规律。由图可知,边坡安全系数随降雨强度的增大而减小,二者呈反比关系。当降雨强度为 3 mm/h 时,边坡安全系数为 2.36,当降雨强度为 80 mm/h 时,边坡安全系数为 1.75。出现这一现象主要因素如下:(1)土壤饱和,当雨水渗入土壤,使土壤中的孔隙被填满,进一步导致土壤饱和,土壤的稳定性会下降,因为水分会减少土壤颗粒间的摩擦力,使土壤变得松散。(2)实际工程中降雨强度较大时,雨水的冲刷作用会导致土壤表层的

流失,进一步减少了边坡的支撑力,同时由于水的密度大于空气,降雨会增加边坡的重量,对边坡的稳定性造成影响。因此,降雨强度的增加会对边坡的稳定性造成许多不利影响,在边坡工程中需要充分考虑降雨情况。

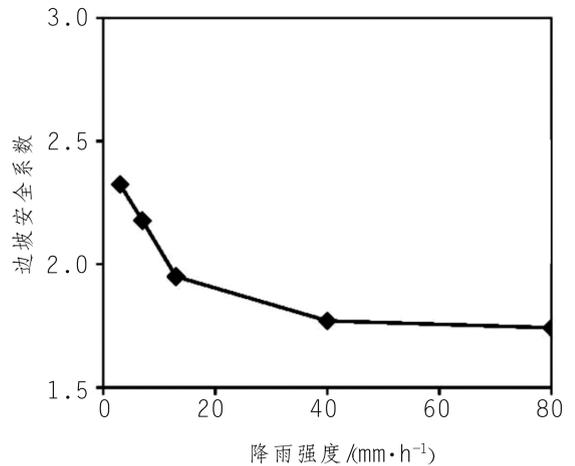


图 3 不同降雨强度下边坡安全系数的变化

4 边坡加固措施

降雨诱发的滑坡风险可以采取以下加固措施:(1)加强边坡排水,安装排水沟、梯形排水沟等,确保降雨及时排除,减轻水压力,避免土壤松动和坍塌。(2)设置护坡网、边坡钉等,以加强边坡的稳定性。还可以采用加固地基的方式,增加地基承载力,使边坡不易发生滑坡和塌方。(3)考虑植被恢复方法,加强边坡植被的恢复和管理,选择适宜的植被,加强护坡作用。合理的植被管理可以增加土壤的保水能力,减少雨水的冲刷和侵蚀,同时也可加强边坡规划管理,合理规划和建设,避免在易发生滑坡、泥石流的区域建设,降低地质灾害风险。(4)采用监测和预警系统,实时监测边坡的变化情况,及时发现滑坡的风险,并采取措施加以防范。常见的监测和预警系统包括地下水位监测、倾斜仪监测、水文监测和遥感监测等。总之,加强边坡排水、稳定和植被恢复,以及规划管理是应对边坡降雨的有效措施,需要根据具体情况,结合工程技术、自然条件等多方面因素综合考虑,制定合理的加固方案。

5 结语

以浙江省某边坡为例,通过有限元方法分析了不同降雨强度下,边坡的基质吸力和安全系数变化情况,提出了应对降雨诱发滑坡的加固措施。

研究表明:降雨后边坡基质吸力的先增大后减小的变化是由于土壤饱和度随降雨时间的变化而引起的。在降雨初期,基质吸力增大是由于孔隙水压力的增加和土壤饱和度的提高,而随着时间的推移和水分的流动,孔隙水压力逐渐消散,土壤饱和度逐渐减小,导致基质吸力减小。此外,降雨强度越小(3 mm/h),边坡基质吸力的绝对值越大,边坡安全系数随降雨强度的增大而减小,二者呈反比关系。当降雨强度为 3 mm/h 时,边坡安全系数为 2.36,当降雨强度为 80 mm/h 时,边坡安全系数为 1.75。

参考文献:

- [1] 杨造仁. 玉龙喀什水利枢纽工程 P1 石料场开挖高边坡稳定性分析[J]. 东北水利水电, 2023, 41(2): 57-59.
- [2] 赵山. 大沂河水利枢纽工程边坡稳定性的数值模拟研究[J]. 陕西水利, 2022(3): 32-34, 41.
- [3] 刘刊, 庞博, 贾文. 大藤峡水利枢纽左岸弃渣场边坡稳定性分析[J]. 广西水利水电, 2021(5): 26-29.
- [4] 卞智远. 水利堤防边坡稳定性与加固分析[J]. 内蒙古水利,

2020(8): 51-52.

- [5] 邓力博. 水利工程高边坡设计中边坡稳定性提升措施研究[J]. 中国标准化, 2018(10): 150-151.
- [6] 牟祥会. 降雨入渗作用下非饱和土坡的有限元分析[J]. 水利科技与经济, 2023, 29(3): 109-112, 117.
- [7] 吴培元, 马玉真. 降雨状态下黄土边坡数值模拟研究[J]. 内江科技, 2020, 41(8): 38, 40.
- [8] 刘超群, 刘栋, 尚小亮. 降雨入渗作用下路基边坡的稳定性分析[J]. 路基工程, 2018(2): 91-95, 111.
- [9] 谢瑾荣, 周翠英, 程晔, 等. 基于非饱和土有限元强度折减法的降雨入渗条件下高边坡施工稳定性分析[J]. 水运工程, 2012(4): 174-179.
- [10] 楼晓昱, 曾铃, 何忠明. 公路边坡降雨入渗对孔隙水压力影响的有限元分析[J]. 中外公路, 2012, 32(1): 57-61.

作者简介:

王焕泳(1994-),男,浙江乐清人,助理工程师,本科,从事水利工程建设管理方面工作;
赵乐静(1994-),女,浙江乐清人,助理工程师,本科,从事水利工程建设管理方面工作。

(编辑:吴永红)

(上接第 115 页)

和方案,满足防误动、防拒动要求,避免不必要的设备损毁和人身安全事故,确保电站、变电站安全运行。

变压器防火重在防范,应早发现缺陷并进行整改,定期对灭火装置进行维护和检查,着火后按照应急预案,及时抑制和有效扑灭初期火灾。

参考文献:

- [1] 赵佰波,徐士靖,韩敬钦. 火电厂大型油浸式变压器消防设计技术研究,工业安全与环保[J]. 2012, 38(10): 38-40.

- [2] 电力变压器手册[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,1990.
- [3] 防止电力生产事故的二十五项重点要求[M]. 北京:国家能源局,2023.
- [4] 幸伟山. 变压器事故排油管改进探讨,四川水力发电[J]. 2016, 35(2): 18, 28.
- [5] 沈婷. 1 000 kV 主变应急排油方案实施研究[J]. 中国电力企业管理, 2021(1): 94-95.

作者简介:

张梅(1979-),女,湖北襄阳人,高级工程师,硕士,从事水电站电气一次设计工作。

(编辑:吴永红)