

# 干湿循环作用下土质边坡稳定性分析

贺俊毅

湖南建设投资集团-中湘智能建造有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v4i8.6201

**[摘要]** 近年来各地地质灾害的发生频率越来越高, 许多地区对边坡的安全性和稳定性越来越重视, 相关研究机制和基础理论方法得到不断完善。干湿循环作用下土质边坡稳定性分析需要考虑降雨入渗和地表蒸发的边界条件带来的限制值。有限元分析法和双强度折减法是分析边坡含水量和抗滑稳定安全系数的重要理论方法。长时间的降雨量稀少会导致土体内部的含水率降低, 增强了土体颗粒之间的内摩擦系数, 从而促使边坡安全系数增大。本文主要介绍了土质边坡稳定性的理论研究方法, 重点分析了双强度折减法对土质边坡稳定性计算过程, 以此来确保计算结果的可行性, 希望本文可以为边坡项目工作人员提供理论指导。

**[关键词]** 干湿循环作用; 土质边坡; 稳定性分析

## Stability analysis of soil slope under dry and wet cycle

He Junyi

Hunan Construction Investment Group-Zhongxiang Intelligent Construction Co., LTD. Changsha 410004

**[Abstract]** In recent years, the occurrence frequency of geological disasters is more and more high, and many areas pay more and more attention to the safety and stability of the slope, and the relevant research mechanism and basic theoretical methods have been constantly improved. The stability analysis of soil slope under the action of dry and wet cycle needs to consider the boundary conditions of rainfall infiltration and surface evaporation. Finite element analysis and double strength subtraction are important theoretical methods to analyze slope water content and anti-slip stability safety factor. A long time of scarce rainfall will lead to the reduction of the water content inside the soil, enhance the internal friction coefficient between the soil particles, and thus promote the increase of the slope safety coefficient. This paper mainly introduces the theoretical research method of the stability of soil slope, and mainly analyzes the calculation process of the stability of double strength subtraction, so as to ensure the feasibility of the calculation results. We hope that this paper can provide theoretical guidance for the slope project staff.

**[Key words]** dry and wet cycle; soil slope; stability analysis

### 引言

边坡工程是普遍的基建工程项目, 安全性分析具有极其重要的研究意义, 从理论上说, 土质边坡的土体结构由饱和土与非饱和土构成, 其中非饱和土的各项性能特别复杂, 由固态、气态、液态三相组成。其中气态介质、液态介质在压强和温度超出特定的范围之外, 也会出现气压和液压, 对土体颗粒造成不同程度的作用力。由于土体的可塑性较强, 气相计算方法与实际情况存在严重偏差, 在绝大多数情况下, 项目分析过程中只考虑固液两相之间的相互作用, 这种常见的理论分析也存在

着一定的误差。

此外, 地表的水汽蒸发作用就是液态吸收热量转化为气态的过程, 水汽蒸发周期性越久, 土体的含水率就越低, 从而土体的紧密度和可塑性产生干扰, 直接影响着岩土体结构的安全性。

边坡稳定性的研究越来越受重视, 大量科研工作者对该领域开展研究, 取得了一系列的成果。

随着互联网高新技术突飞猛进, 软件模拟计算成为重要的分析手段, 同时各项数据分析模式处于不断完善的状态, 能够解决越来越多的工程实际问题。在进行边坡模拟的过程中, 需

要充分考虑水气运移对土体含水率变化造成的影响,对安全系数的计算精确度进行预判。降雨作用给土体供给了大量的水分,而土体内部通过毛细水吸湿作用,提高了体积含水率,而蒸发作用对土体表面的含水量产生了明显的影响,对深层的土体影响效果甚微,可以忽略不计。

### 1. 基本理论研究

本文的出发点是将降雨入渗深度与干湿循环试验结合起来,还原实际现场的工程条件,并采取加载的形式,最后结合双强度折减法计算土质边坡的综合稳定系数,利用计算结果对其稳定性进行评价,并给予边坡治理建议。

#### 1.1 土体入渗深度计算方法

本文主要基于降雨入渗,研究水对土体物理参数的变化情况,一旦土层物理参数发现变化,其承载能力和受力性能也会得到相应的变化,从而分析得到土颗粒之间的变形作用,从而预测出变形情况。雨季降雨过程中,雨水会随着坡度从高往低流动,遇到土体缝隙会渗入其中,导致浸润锋深度以上土体的含水率增大,达到临界值就不再变化,即饱和状态。降雨结束在气温的作用下,会对土体产生蒸发效果,水从土体中不断蒸发,导致土体的含水率又会不断下降,重新回到原始值。基于这个原理开展干湿循环试验,研究土体参数的变化规律和趋势,这对边坡稳定性计算具有积极引导作用。

#### 1.2 双强度折减法

##### 1.2.1 方法概述

常用的边坡极限平衡条分法在使用过程中,黏聚力  $c$ 、内摩擦角  $\phi$  均采用同一安全系数或同一折减系数,但在工程实际中,  $c$ 、 $\phi$  存在一定的偏差,与之前的假设情况不相符合。故在分析边坡稳定性时,采用不同的强度折减系数进行定量分析,该方法叫双强度折减法。具体表达式如下:

$$SRF_c = \frac{c_p}{c(\eta)} \quad (1)$$

$$SRF_\phi = \frac{\tan\phi_p}{\tan\phi(\eta)} \quad (2)$$

##### 1.2.2 双安全系数之间的关系

假设峰值时刻与残余时刻存在某种特定的联系,引入一个特定的系数  $\lambda$ ,通过这个系数进行公式推导,建立出黏聚力折减系数与内摩擦角折减系数之间的转换公式,便于二者的相互转换,为稳定性分析工作奠定基础,具体表达式如下所示:

$$SRF_c = \frac{\lambda SRF_\phi}{1 + (\lambda - 1)SRF_\phi} \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{c_p(\tan\phi_r - \tan\phi_p)}{(c_r - c_p)\tan\phi_p} \quad (4)$$

##### 1.2.3 边坡综合稳定性系数的确定

由于双强度折减法涉及到2个稳定系数,在实际评估工作中不太便利,为了简化安全系数,可以将双强度折减法中的2个参数转化为一个参数,为后续计算工作提供便利。其计算表达式为:

$$\begin{cases} F_s = \frac{1}{1 - R/\sqrt{2}} \\ R = \sqrt{\left(1 - \frac{1}{F_{sc}}\right)^2 + \left(1 - \frac{1}{F_\phi}\right)^2} \end{cases} \quad (5)$$

## 2. 工程实例分析

### 2.1 工程概况

本文以某基坑边坡工程项目为例,采用双强度折减法进行边坡稳定性分析,并设置

干湿循环作用的边界条件,对土坡的变形情况进行模拟计算。根据工程设计资料可知,边坡总坡高约34.5m,土料堆填高度约为27.5m,长约80m,分两级坡来堆填,坡度均为26°。查阅历年的水文气候资料可知,该区域多年来的平均累计降雨量为1935.8mm,降雨量随着季度的变化呈现出不同的变化趋势,降雨充沛时期集中在4至9月份,最大值集中在7、8月份。根据当地的工程地质勘测资料可知,边坡开挖过程中所属的地层属于混合土层,从上至下依次分为三层,分别为素填土、全风化花岗片麻岩、强风化花岗片麻岩,全文化花岗片麻岩破碎程度强,稳定性相对较差。

### 2.2 边坡稳定性分析

#### 2.2.1 计算降雨入渗深度

双强度折减法的第一步是对降雨入渗深度进行精确计算,判断不同降雨强度对分析结果的影响程度。首先作出假设,假定降雨恒定强度集中在固定时间段,本次计算模拟三种不同的工况,基本变量是降雨时长,分别设为30天,40天,50天,中间间隔10天,假设总降雨量与下图2的数据总和相等,通过素填土渗透系数的取值情况,选择合适的湿润锋计算公式,并将各项参数带入其中,求出浸润锋深度。

#### 2.2.2 干湿循环

为了最大限度地简化分析过程,可以假设各土层材质是各向同性的,不会随着方向的改变而发生物理化学性质的变化。而模拟边坡承受降雨作用的土体变形情况,研究人员可以开展室内干湿循环试验,来还原实际降雨蒸发的动态过程,具体要求是确保干燥箱将土样完全烘干,也就是其中含水率为0,还要滴灌技术对土体进行增湿,确保含水率随着土层厚度呈现出等距增加的趋势,当土样达到饱和状态时,则停止操作。反复持续操作5次左右,通过回归方程拟合的计算效果,可以得到土体参数随干湿循环次数的变化曲线图。由图可知,土体黏聚力及内摩擦角与

干湿循环次数呈指数函数关系,次数越多,这两项参数一直在下降,下降速度前期较快,后期渐渐趋向0,第五次操作结束后,曲线曲率趋于0,可以发现进行完5次干湿循环后,土体抗剪强度不再发生变化。

#### 2.2.3 建立模型

根据第一步得出的浸润锋深度,根据插值法确定相对应的点位,利用直线将点位依次连接起来便形成了浸润面。基于浸润面的基本特征和地质勘测资料,研究人员可以利用FLAC3D软件拟合出一个同等尺寸的初步模型,即有限元模型。边界条件是施加约束,即模型底部采用全部约束,模型两侧施加固定数值的法向约束,将浸润面以上土层的抗剪强度参数替换为对应干湿循环次数。

#### 2.2.4 稳定性结果探讨

在采用双强度折减法时,首先利用双安全系数转换公式计算出黏聚力折减系数与内摩擦角折减系数,由于上覆土层厚度较高,导致下伏基岩埋藏较深,超出滑动边界。为了得出可靠的计算结果,折减0~5次干湿循环工况下的  $c$ 、 $\phi$ , 求出稳定

参数,然后通过5式计算出整体稳定性系数 $F_s$ ,作为稳定性评估的基本依据。传统强度折减法和双强度折减法的计算结果汇总如下表所示:

考虑降雨入渗	工况一	$c$ 与 $\varphi$ 具有相同的折减系数	1	$c$ 与 $\varphi$ 同时折减1.69	1.69
并结合传统	工况二	$c$ 与 $\varphi$ 具有相同的折减系数	1	$c$ 与 $\varphi$ 同时折减1.66	1.66
强度折减法	工况三	$c$ 与 $\varphi$ 具有相同的折减系数	1	$c$ 与 $\varphi$ 同时折减1.68	1.68
考虑降雨入渗	工况一	$c$ 与 $\varphi$ 非等比例折减	0.358	$c$ 折减1.22, $\varphi$ 折减1.60	1.60
并结合双强度	工况二	$c$ 与 $\varphi$ 非等比例折减	0.358	$c$ 折减1.96, $\varphi$ 折减1.21	1.58
折减法	工况三	$c$ 与 $\varphi$ 非等比例折减	0.358	$c$ 折减1.94, $\varphi$ 折减1.21	1.57

表1 传统强度折减法和双强度折减法稳定性结果对比表

由上表可知,两种方法下的工况计算结果偏差不大,整体分布区间在1.55~1.7之间,其中传统强度折减法的计算结果略大于双强度折减法,说明采取双强度折减法计算边坡稳定性系数也是可靠度较高的一种方法。因此代表计算结果的可行性较高,具有数据说服力。

边坡稳定性研究工作开展过程中需要综合考虑降雨因素带来的干扰,并且本次工程案例计算结果表明,当地的降雨情况并不会破坏土质边坡的整体稳定性和工程安全性。

### 3.结论分析

(1)本次研究主题是某边坡项目的稳定性分析,通过稳定性系数的比较,表明双强度折减法能够更加准确的反映出边坡的变形情况,从而更加可靠的评估稳定性和安全性。

(2)边坡土体的黏聚力及内摩擦角是重要的土体参数,是能够反应土体抗剪强度的主要标准,通过回归方程的拟合,发现相关系数分别为0.995和0.998,表明散点与函数图像能够基本吻合,即 $c$ 、 $\phi$ 与干湿循环次数呈指数函数关系。通过0~5次干湿循环试验数据的观察,一方面呈现负增长的趋势,另一方面在第5次干湿循环操作结束之后, $c$ 、 $\phi$ 值的变化速率趋于0,可以默认为不再发生变化的理想状态,因此,设计人员可以根据第5次干湿循环的抗剪强度参数来开展边坡防护设计工作。

### 4.边坡治理改善措施

#### 4.1 采取挡土墙加固措施

挡土墙加固是边坡治理改善的重要手段之一,挡土墙的种类分为简易挡土墙、浆砌石挡土墙、混凝土挡土墙,其中浆砌石挡土墙和混凝土挡土墙在边坡防护治理过程中最为常见,通过物理结构重力加载的效果抵消边坡失稳产生的余荷载,从而达到整体平衡的状态。挡土墙加固措施能够阻断土层表面与大气之间的蒸发作用,导致土体内部的含水率不会发生大幅度的变化,从而提高土质边坡的稳定性。

#### 4.2 利用绿植护坡施工工艺

绿植护坡技术是近年来新兴的护坡措施,其造价低廉,操作工艺简便,已经在部分区域得到有效应用,最大限度的保护坡面的表面结构。社会经济的飞速发展也加快了基建项目的普及进程,部分工程项目存在大量的裸露表面,一旦气候恶劣起来,将会大大提高地质灾害风险,给周边生态环境造成安全隐患,同时还破坏了边坡工程的整体安全性。边坡绿化技术能够

达到绿化周边环境的效果,优化空气质量,避免水土流失的现象。此外,许多地区管理部门将绿植护坡技术与传统的工程技术相结合,能够更加高效地解决实际问题,这对于边坡项目的研究具有重要的意义,也满足当今时代绿色可持续发展的环保理念。

#### 4.3 完善边坡排水系统

边坡工程在建设过程中,需要设置排水孔和截水沟,边坡顶部的截水沟能够将边坡顶部多余的水通过管槽的形式汇入排水系统,通过排水系统将水运输至地底集水井。而排水孔则排出土体内部多余的水分,避免长时间积水浸泡土体,导致土层物理性质发生变化而产生滑坡的现象。实际上不断完善边坡排水系统对增强边坡的稳定性和提高挡土墙的使用寿命都具有重要的意义。

### 结语

综上所述,边坡工程建设进程在不断推进,其施工技术和设计计算都处于得到高质量的优化。近年来,边坡失稳及崩塌现象频发,许多地区政府提高了对该领域的重视程度,并采取了一系列的改善措施进行边坡修复和加固措施,力求改善边坡治理制度。从计算结果分析可知,双强度折减法能够有效用于边坡安全评估与研究,并且具有较高的说服力和可靠性。在未来的发展旅程中,通过工作人员的不断努力,边坡稳定性研究领域能够得到重大突破。

### 参考文献

- [1]李红晓,李朝晖.干湿循环作用下土质边坡稳定性分析[J].水利科技与经济,2022,28(03):21-25.
- [2]吕奥云.降雨渗流及干湿循环作用下红砂岩顺层边坡稳定性分析[J].四川水泥,2019(01):261.
- [3]曾胜,李振存,韦慧等.降雨渗流及干湿循环作用下红砂岩顺层边坡稳定性分析[J].岩土力学,2013,34(06):1536-1540+1559.
- [4]张鹏超.干湿循环作用下花岗岩残积土性能劣化及边坡稳定性分析[J].工程勘察,2020,48(09):19-23.
- [5]周紫朝.干湿循环作用下侏罗系砂泥岩特性及边坡稳定性分析[D].武汉大学,2022.
- [6]陈纪昌.干湿循环及地震耦合作用下的库区红层泥岩边坡稳定性分析[J].水电能源科学,2021,39(04):133-136+203.
- [7]熊爽,曾江波,姚文敏等.降雨干湿循环作用下的渣土边坡稳定性[J].地质科技情报,2018,37(05):240-246.
- [8]刘浚基.干湿循环作用下非饱和红砂岩土土水特性及边坡稳定性分析[D].江西理工大学,2021.