

某村庄边坡稳定性分析及支护方案研究

祝荃芄

江西师范高等专科学校 江西鹰潭 335000

摘要: 边坡失稳是山区常见的自然灾害之一。一些突发性的滑坡地质灾害给人们的生命和财产带来了巨大的损失。鉴于此, 研究背景为某村的小型滑坡工程。在文献研究和资料收集的基础上, 结合理论分析和数值模拟, 分析了某村小型滑坡的稳定性。提出了经济合理的支护方案。选择了锚杆和抗滑桩的混合支护方案, 并对支护后的边坡稳定性进行了计算和分析。结果表明, 降雨后的安全系数为1.38, 可以满足相关规范的要求。

关键词: 强度折减 稳定性分析 安全系数

1. 概述

斜坡不稳定是山区常见的自然灾害之一。山体滑坡的发生与降雨密切相关。据统计, 中国大部分的山体滑坡都是由降雨直接诱发的。降雨引起的地下水位上升是降雨引起山体滑坡的主要原因。当渗流压力增加时, 土的自重增加, 滑动区土的机械强度下降, 影响坡体的整体稳定性, 从而导致坡体的滑动。因此, 建立预测和预防滑坡灾害的定量分析模型, 对研究降雨与边坡失稳的关系具有重要意义。该村位于石家庄市西部, 地处太行山中段。由于地质环境脆弱, 环境地质问题较多, 地质灾害频发, 多年来严重制约了当地经济发展。一些突发性的地质灾害给当地人民的生命和财产造成了巨大的损失。



图1 某村庄现场图片

山体滑坡危险区的面积约为 $2.6 \times 10^4 \text{m}^2$ 。目前, 山体滑坡仍对某村人民的生命和财产安全构成巨大威胁。主要受害者是山体滑坡前沿的25户人家, 有130人, 直接经济损失达300万。滑坡顶部标高608米, 坡底标高571米, 相对高差约37米, 坡向为 180° , 坡度一般为 $18^\circ\text{--}32^\circ$, 呈缓陡状; 坡上植被覆盖率达60%以上, 多为小灌木。滑坡体主要由滑坡体堆积的碎石和泥土组成, 滑坡体物质为黄褐色, 比较松散。根据现场勘察报告, 滑坡体厚度为8~15m, 前缘为8m, 中间厚, 两侧及前后缘薄。滑动床为中生代长城系长洲沟、大洪峪地层砂岩, 基岩发生度为 245° 和 12° 。滑坡的基岩层是滑坡的滑动面。某村庄滑坡已产生尾部裂缝, 严重威胁到当地居民的安全。因此, 本文的主要工作是对某村庄滑坡的稳定性进行分析, 并提出合理建议。

2. 计算模型

根据某村的勘察报告和地形图, 选择具有代表性的剖面建立模型, 设计并计算支撑方案, 并对结果进行比较。构成模型的选择直接影响到有限元分析结果的准确性。本文中, 土体部分采用Mohr-Coulomb模型, 支撑结构部分采用弹性模型。材料参数见表1、2和3。

表1 土的材料参数和特性

土体区域	单位类型	模型	弹性模量 kN/m ²	泊松比(μ)	体积密度 kN/m ³	饱和体积 密度kN/m ³	孔隙率(e)	粘聚力kN/ m ²	内摩擦角 (ϕ)
滑动土体	二维平面应变	Mohr-Coulomb	30000	0.2	20	20.3	0.73	35	20
滑移区土体	二维平面应变	Mohr-Coulomb	50000	0.3	20	20.3	0.73	20	18
滑动床土体	二维平面应变	Mohr-Coulomb	500000	0.14	21	23	0.8	60	20.5

表2 结构材料参数

材料名称	模型	弹性模量kN/m ²	泊松比(μ)	体积密度kN/m ³
混凝土	弹性	3.15E+07	0.2	25
锚杆	弹性	2.0E+08	0.3	78

表3 结构的属性参数

结构名称	单位类型	模型	材料	节点形状	单元大小m
抗滑桩	一维梁单元	弹性	混凝土	长方形	0.2*0.2
锚杆	一维桁架单元	弹性	锚杆	圆形	D=0.02

Mohr-Coulomb模型对于一般的岩土工程非线性分析是可靠的，所以它被广泛用于模拟大多数岩土材料。在土体中，任何承载面的极限抗剪强度都可以用莫尔-库仑模型定量表示。

$$\tau_n = C + \sigma_n \tan \phi$$

其中： τ_n -最终抗拉强度； C 、 ϕ -土体的粘聚力和内摩擦角； σ_n -土体应力表面的法向应力。

Mohr-Coulomb屈服准则也可以用平面主应力表示 σ_1 和 σ_2 ，

$$\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2) - \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2) \sin \phi - C \cos \phi = 0$$

根据我国气象部门的规定，暴雨蓝色预警的标准是12小时内降雨量将达到50毫米以上，或者已经达到50毫米以上且降雨可能持续。根据暴雨标准作为降雨强度的输入值，本文拟对降雨持续10小时的条件下的边坡稳定性进行分析。总体计算条件如表4所示。

表4 工作条件的计算

序号	模拟工作条件	计算类型
1	坡面初始应力场	重力加载
2	斜坡稳定性分析的现状	强度折减法
3	降雨	完整应力渗流耦合

3. 结果分析

采用强度折减法分析自然条件下某小滑坡典型剖面的稳定性，并选用数值模拟计算方法进行暴雨条件下某小滑坡的稳定性分析。通过对位移场、有效塑性区和安全系数的分析，设计出合理的支撑方案。

3.1 自然状态下分析结果

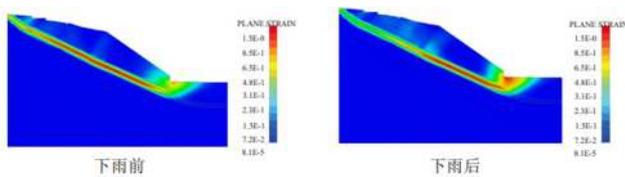


图2 自然状态下A-A截面的有效塑性云图

三段的滑动面均为圆形滑动面，并沿土层界面滑动，最大位移出现在坡脚，如图3所示。这说明在整个模型计算过程中，坡脚是最容易发生滑动的位置。降雨前后有效塑性云图的对比（图2）表明，潜在的滑动面位于土层界面，降雨后有效塑性区向坡脚发展，屈服面积变大，渗透趋势进一步加强。根据《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2013，边坡的稳定状态分为稳定、基本稳定、不稳定和不稳定四种状态。当边坡安全系数 $FS < 1.00$ 时，边坡处于不稳定状态；当边坡安全系数为 $1.00 < FS < 1.05$ 时，边坡处于不稳定状态；当边坡安全系数为 $1.05 < FS < 1.30$ 时，边坡处于基本稳定状态；当边

坡安全系数 $FS > 1.30$ ，边坡处于稳定状态。见表5。降雨前后各剖面的安全系数比较如下。

表5 自然状态下降雨前和降雨后斜坡的稳定性分析

截面	工况	安全系数	边坡稳定状态
A-A	自然状态	1.116	基本稳定
	降雨	1.070	基本稳定
B-B	自然状态	1.116	基本稳定
	降雨	1.045	不稳定
C-C	自然状态	1.190	基本稳定
	降雨	1.013	不稳定

3.2 锚杆支护

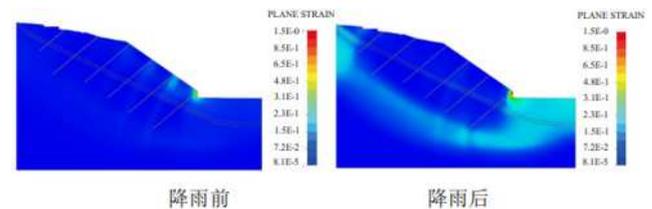


图3 锚杆支护的A-A截面有效塑性云图

根据计算出的边坡安全系数和《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2013，对边坡的稳定状态进行了分析。通过对降雨前后锚杆支撑模拟工况的计算结果分析（图3），可以看出，安全系数远高于自重，降雨前后A-A和B-B滑坡的边坡稳定性达到稳定状态。然而，C-C滑坡的坡面稳定性在降雨后稍差，只能达到基本稳定状态。见表6。

表6 锚杆支护条件下边坡稳定性分析

截面	工况	安全系数	边坡稳定状态
A-A	锚杆支护	2.178	稳定
	锚杆支护+降雨	1.453	稳定
B-B	锚杆支护	1.916	稳定
	锚杆支护+降雨	1.359	稳定
C-C	锚杆支护	2.163	稳定
	锚杆支护+降雨	1.140	基本稳定

3.3 锚杆支护和抗滑桩组合支撑

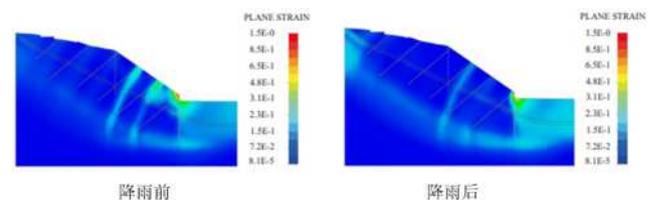


图4 锚杆支护和抗滑桩的A-A截面组合支撑有效塑性云图

根据计算的边坡安全系数和《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2013，对边坡的稳定状态进行分析。采用锚杆支护

和抗滑桩混合支护后,该段A-A、B-B、C-C的安全系数明显高于自重状态下的安全系数,如表7所示,达到降雨前后边坡的稳定状态。

表7 锚杆支护和抗滑桩混合支撑下边坡稳定性分析

截面	工况	安全系数	边坡稳定状态
A-A	锚杆支护+抗滑桩	2.216	稳定
	锚杆支护+抗滑桩+降雨	1.506	稳定
B-B	锚杆支护+抗滑桩	2.134	稳定
	锚杆支护+抗滑桩+降雨	1.416	稳定
C-C	锚杆支护+抗滑桩	2.263	稳定
	锚杆支护+抗滑桩+降雨	1.384	稳定

4. 总结

本文以某村庄小型滑坡为背景,基于有限元软件,采用有限元强度折减法,详细分析了暴雨条件下不同支护方案的边坡稳定性。根据勘察报告和经验值确定土质参数。通过对滑坡典型剖面的建模和计算,分析塑性云图和安全系数,设计并确定了边坡支护方案。研究结果如下:在降雨条件下,边坡的安全系数为1.070,处于不稳定状态,严重影响了附近居民的安全。经过对边坡支护方案的设计和比较,选择了锚杆和抗滑桩的混合支护方案,并对边坡支护后的稳定性进行了计算和分析,结果表明,降雨后的安全系数为138,可以

满足工程建设和相关规范的要求。

参考文献

- [1] 姚海林,郑少河,李文斌,陈守义.降雨入渗对非饱和膨胀土边坡稳定性影响的参数研究[J].岩石力学与工程学报,2002(07):1034-1039.
 - [2] 何军.大渡河干海子堰塞堆积体成因机制及稳定性研究[D].成都理工大学,2009.
 - [3] Ouyang C, He S, Xu Q, et al. A MacCormack-TVD finite difference method to simulate the mass flow in mountainous terrain with variable computational domain[J]. Computers & Geosciences, 2013.
 - [4] 邓友生,许文涛,刘华飞,等.土质边坡稳定安全系数计算方法研究[J].公路工程,2017(2):23-28.
 - [5] 尹小涛,薛海斌,汤华,等.边坡局部和整体稳定性评价方法的辩证统一[J].岩土力学,2018,39(S1):98-104.
 - [6] 刘明建.基于FLAC数值模拟的路堑边坡稳定性分析.中国水运[J],09,第09卷,第5期
- 科研项目:2020年度江西省教育厅科学技术研究项目 GJJ203207