

含蚀变带岩质边坡稳定性分析

李晓杨^{1, 2}

(1. 广东省水利水电科学研究院, 广东 广州 510060;
2. 广东省大坝安全技术管理中心, 广东 广州 510635)

摘要: 蚀变带的存在对边坡稳定具有不确定性的影响, 为充分认识蚀变带对边坡稳定性影响, 建立多种工况下的边坡分析模型, 分析结果表明: 当蚀变带处于滑坡体内部或者远离滑坡体时, 蚀变带的存在会增大或不影响边坡安全系数; 当蚀变带与滑坡带相交时, 边坡安全系数减小。同时, 蚀变带倾角对边坡安全系数影响具有临界性。研究成果可以为含蚀变带等软弱夹层的边坡稳定性分析提供一定的依据。

关键词: 蚀变带; 边坡稳定; 安全系数; 多种工况

中图分类号: TU45 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839 (2018) 01-0059-04

Stability analysis of rock slope with alteration zone

LI Xiaoyang^{1, 2}

(1. *Guangdong Research Institute of water resources and Hydropower, Guangzhou 510060, Guangdong;*
2. *Guangdong dam safety technology management center, Guangzhou 510635, Guangdong*)

Abstract: The alteration zone has uncertainty effect on the slope stability. In order to fully understand the effect of alteration zone on slope stability, the slope stability model under various conditions was established, and the analysis results showed that: When the alteration zone was inside or far away from the landslide body, the existence of the alteration zone would increase or not affect the slope safety factor. When the alteration zone intersected the landslide zone, the slope safety factor would decrease. At the same time, the inclination of the alteration zone has a critical effect on the slope safety factor. The research results could provide certain basis for slope stability analysis of soft inter-layer including alteration zone.

Key words: alteration zone; slope stability; safety factor; various working conditions

0 引言

对于含蚀变带的岩质边坡, 随着原有的锚杆或锚网喷支护逐渐丧失锚固能力, 蚀变带周围岩体出现局部的滑移垮塌, 导致边坡安全系数下降^[1]。对于含软弱夹层或结构面的边坡稳定性, 许多学者对此开展研究: 李龙起等^[2]对岩质边坡进行地质力

学模拟试验, 对岩土体内部的软弱夹层的贯通方式进行研究; 范刚等^[3]基于希尔伯特—黄变换和边际谱理论, 根据建立的边坡振动台模拟试验装置, 构建含软弱夹层岩质边坡破坏方式的能量判据; 张社荣等^[4]采用极限平衡法及强度折减法, 对含多层软弱结构面的岩质边坡的变形特征及失稳机理开展研究; 丁立明等^[5]采用 ANSYS 有限

收稿日期: 2017-09-29

作者简介: 李晓杨 (1993-), 女, 本科, 助理工程师, 主要从事大坝安全评价相关工作。

元软件对含软弱夹层的露天矿坑边坡进行稳定性分析;秦鸿等^[6]对于软弱夹层不同力学条件的多种工况进行有限差分分析,得到各影响因素的不同影响程度;郝亚飞等^[7]针对爆破作用下,含软弱夹层岩质边坡的稳定性及岩层爆裂特征进行分析;范刚、张建经等^[8]为研究软弱夹层对动力频谱的传递特征,基于传递函数相关理论并结合振动台模拟试验,建立含软弱夹层传递函数;芮勇勤等^[9]针对露天矿坑边坡的长期稳定性进行研究,基于软弱夹层的非线性蠕变特性,建立修正软弱夹层流变方程,研究含软弱夹层边坡的长期变形特征;年廷凯等^[10]以含软弱夹层边坡为研究对象,基于有限元强度折减法,建立含软弱夹层的边坡三维分析模型;田小甫、孙进忠等^[11]采用离散元分析方法,针对不同的软弱结构面产状,分析地震作用下岩质边坡的稳定性。上述学者针对含软弱夹层或结构面的岩质边坡的稳定性及地震响应特性开展分析,采用数值模拟、室内试验及振动台模拟试验等多种方式,但对于含蚀变带作用下岩质边坡稳定性缺乏必要的分析,以及对蚀变带的不同位置、分布特征等具体工况文献涉及较少。本文针对不同蚀变带赋存状态,采用有限元极限平衡法对边坡的稳定性开展分析,研究不同位置及多种分布特征的蚀变带对边坡的稳定性影响特征。

1 蚀变带边坡模型

金属矿山地质成矿时期,地球内部热液与围岩发生一系列的化学反应,导致岩土体的内部结构、矿物组分等性质产生根本改变,并形成带状分布的蚀变带。由于蚀变带的力学强度较低,受外力极易破碎,甚至呈粉末状。因此在分析过程中蚀变带看作为软弱结构面,但同时蚀变带具有一定的厚度,一般不与地表贯通,且在金矿开采过程中往往不对蚀变带进行揭露。

为研究蚀变带位置、分布及形态对边坡稳定性的影响,建立150×120边坡数值计算模型,边坡角为48°。边坡模型计算边界条件为边坡两侧

对x方向固定,边坡底部约束所有方向自由度均被约束。边坡岩土体本构模型为Mohr-coulomb模型,材料强度参数如表1所示。

对蚀变带不同工况进行分析,主要考虑以下蚀变带特征:

工况一:考虑不同蚀变带位置,分别考虑蚀变带完全位于滑坡带内部及完全处于外部,以及蚀变带形心位于80 m、30 m不同高程位置进行分析,蚀变带形状为长10 m、宽30 m的矩形;

工况二:对蚀变带的倾斜角度,分别考虑蚀变带倾角为0°、30°、45°、60°、90°、120°条件,分析边坡稳定性。

2 数值模拟结果

2.1 不同蚀变带位置

分析方法采用Morgenstern-Price法^[12],根据力的平衡原理可得,与滑动面垂直方向的静力平衡方程为:

$$N_i = (G_i + \mu g_{i-1} E_{i-1} - \mu g_i E_i + Q_i) \cos \beta_i + (E_i - E_{i-1} + Q_i) \sin \beta_i - U_i \quad (1)$$

式中:倾角为 β_i ,条块自重为 G_i ,外荷载为 Q_i ,条间法向力为 E_i ,力平衡系数为 μ ,条间法向力与切向力关系函数为 $g(x)$,法向力与切向力之间关系为 $Y = \mu g(x)$,水压力为 U_i 。

对无蚀变带及5种不同蚀变带位置的边坡模型进行分析,结果如表2所示。

根据表2及图1可以得到:当蚀变带位于滑

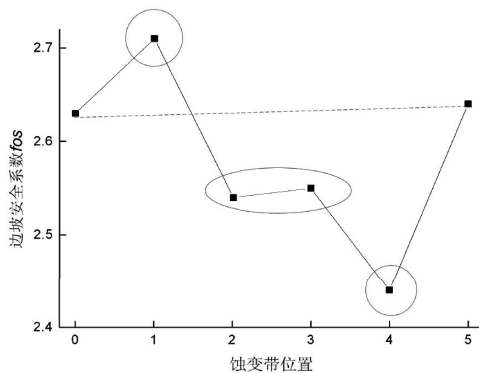
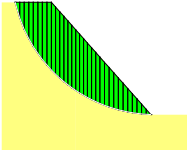
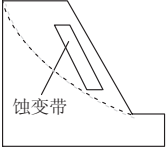
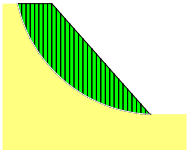
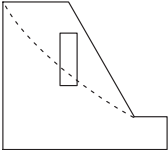
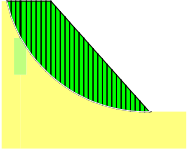
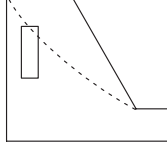
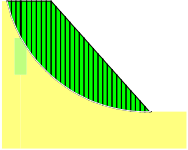
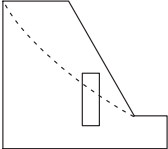
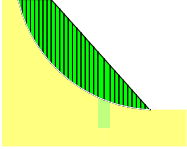
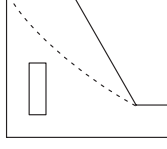
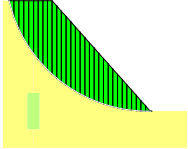


图1 不同蚀变带位置边坡安全系数

表1 材料强度参数

	重度 (kN/m ³)	内摩擦角 (°)	粘聚力 (kPa)	弹性模量 (GPa)	泊松比
岩体	2.3	35	50	5.0	0.35
蚀变带	1.3	15	5.0	0.4	0.49

表 2 不同蚀变带位置计算结果

蚀变带			蚀变带		
	<i>fos</i>	计算结果		<i>fos</i>	计算结果
1 无蚀变带	2.63		2 	2.71	
3 	2.54		4 	2.55	
5 	2.44		6 	2.64	

坡体内, 边坡的安全系数高于无蚀变带条件, 原因在于蚀变带的存在使得滑坡体的总体重量减小, 因此滑坡体的下滑力减小, 在一定范围内, 蚀变带体量越大对边坡的稳定性越好。

对于蚀变带形心位置, 当位于边坡体中部时, 边坡安全系数分别为 2.54、2.55, 可以认为无变化, 但当蚀变带与滑坡带存在一定重合时, 蚀变带的存在导致边坡的安全系数小于无蚀变带情况; 当蚀变带位于坡体下部且与滑坡体存在重合时, 会导致边坡的稳定性降低, 发生滑坡的概率高于无蚀变带及蚀变带位于中部的情况, 但当蚀变带与滑坡体存在一定距离时, 边坡安全系数为 2.64, 可

以认为与无蚀变带情况边坡安全系数 2.63 无变化。

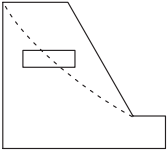
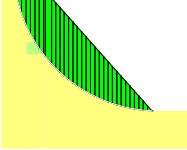
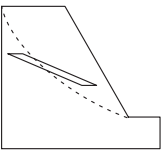
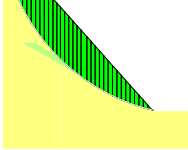
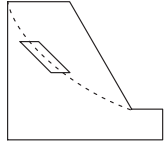
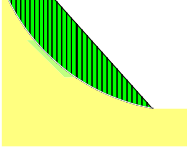
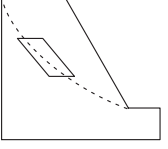
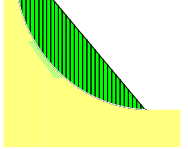
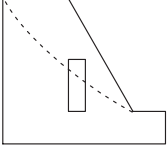
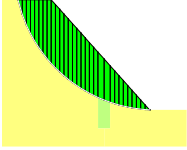
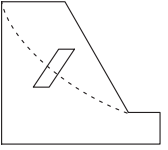
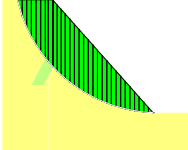
2.2 蚀变带分布特征

根据对工况一的分析结果, 蚀变带与滑面带相交时, 对边坡的稳定性影响较大。因此, 对于工况二分析蚀变带的倾斜角度, 仅考虑蚀变带与滑坡带相交的情况, 分别考虑蚀变带倾角为 0°、30°、45°、70°、90°、120° 条件。

表 3 为不同蚀变带角度计算结果。

由表 3 及图 2 所示, 蚀变带倾角对边坡的安全系数产生不利影响, 当蚀变带倾角为 45° 时, 降低幅度最大可达 25.48%; 当倾角小于 45° 时, 边

表 3 不同蚀变带角度计算结果

蚀变带			蚀变带		
	<i>fos</i>	计算结果		<i>fos</i>	计算结果
1 	2.52		2 	2.30	
3 	1.96		4 	2.03	
5 	2.44		6 	2.52	

坡安全系数随着蚀变带倾角的增大而逐渐减小,滑坡发生概率增大;当倾角大于 45° 时,边坡安全系数随着倾角的增大而增大,边坡稳定性较好。

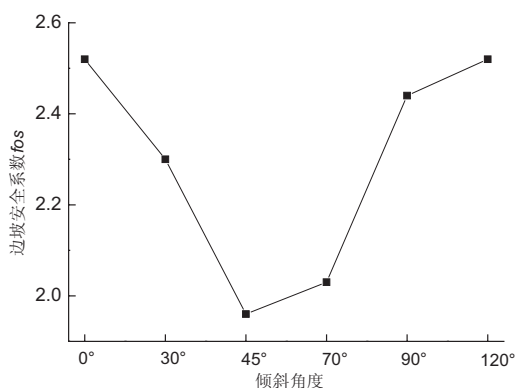


图2 不同蚀变带倾角边坡安全系数

蚀变带的存在极易导致岩质边坡的局部失稳滑移,严重威胁边坡的安全。通过对蚀变带位置及倾角对边坡安全系数的影响分析,当蚀变带与滑坡带相交时,且蚀变带倾角处于 $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 范围内时,边坡处于最不安全状态。因此,对于边坡的稳定性分析应充分勘探坡体内部的地质构造。

3 结论

对不同蚀变带工况影响下的边坡稳定性开展分析,分别考虑不同蚀变带位置、蚀变带的倾斜角度对边坡稳定性的影响,采用半正弦函数的Morgenstern-Price法得到不同工况的安全系数,可以得到如下结论:

(1) 蚀变带存在于滑坡体内,有利于边坡的稳定性;蚀变带与滑坡体存在一定的重合,对边坡稳定性产生不利影响;当蚀变带与滑坡体存在一定的距离,对边坡的稳定性几乎不产生影响。

(2) 蚀变带倾角对边坡安全系数产生明显的影响,当倾角为 45° 时,边坡安全系数最低,考虑岩质边坡的实际情况,在工程实践中可以认为,当 $40^{\circ} < \text{倾角} \alpha < 50^{\circ}$ 时,安全系数急剧下降,边坡

处于最不安全状态。

参考文献:

- [1] 杨天鸿,张锋春,于庆磊,等.露天矿高陡边坡稳定性研究现状及发展趋势[J].岩土力学,2011,32(5):1437-1451.
- [2] 李龙起,罗书学,魏文凯,等.降雨入渗对含软弱夹层顺层岩质边坡性状影响的模型试验研究[J].岩石力学与工程学报,2013,32(9):1772-1778.
- [3] 范刚,张建经,付晓,等.含软弱夹层顺层岩质边坡动力破坏模式的能量判识方法研究[J].岩土工程学报,2016,38(5):959-966.
- [4] 张社荣,谭尧升,王超,等.多层软弱夹层边坡岩体破坏机制与稳定性研究[J].岩土力学,2014,35(6):1695-1702.
- [5] 丁立明,才庆祥,刘雷,等.软弱夹层对露天矿边坡稳定性的影响[J].金属矿山,2012,41(4):40-42.
- [6] 秦鸿.软弱夹层边坡变形性状及其影响因素分析[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2011,30(2):282-286.
- [7] 郝亚飞,李海波,郭学彬,等.含软弱夹层岩体边坡爆破层裂特性及稳定性研究[J].岩土力学,2012,33(4):9-13.
- [8] 范刚,张建经,付晓.含软弱夹层顺层岩质边坡传递函数及其应用研究[J].岩土力学,2017,38(4):1052-1059.
- [9] 芮勇勤,徐小荷,马新民,等.露天煤矿边坡中软弱夹层的蠕变变形特性分析[J].东北大学学报(自然科学版),1999,20(6):612-614.
- [10] 年廷凯,张克利,刘红帅,等.基于强度折减法的三维边坡稳定性与破坏机制[J].吉林大学学报,2013,43(1):178-185.
- [11] 田小甫,孙进忠,刘立鹏,等.结构面对岩质边坡地震动影响的数值模拟研究[J].地质与勘探,2012,48(4):840-846.
- [12] 梁冠亭,陈昌富,朱剑锋,等.基于M-P法的抗滑桩支护边坡稳定性分析[J].岩土力学,2015,36(2):451-456.