

高边坡分级开挖与支护方案研究

陈愿成

(江西省地矿局赣南地质调查大队,江西 赣州 341000)

摘 要:边坡失稳是外界各种因素的共同作用下,由局部小范围的变形逐渐延伸扩大最终演变为整体破坏的灾变过程,在此过程中,控制边坡变形的因素也是“动态”变化的.对未支护下的边坡进行多级开挖,分析不同开挖时步下的坡体稳定性及其变形,根据其计算结果对边坡进行分级支护,分析支护后的坡体稳定性及其变形.对比结果表明,采用及时支护方式开挖的边坡安全系数在开挖早期有所降低,但后期逐渐增加,支护后坡体各监测点的水平位移和竖直位移均小于未支护前.

关键词:高边坡;分级开挖;稳定性分析

中图分类号: TU43

文献标识码: A

文章编号: 1004-4701(2018)02-0134-06

0 引言

边坡失稳是在外界各种因素的共同作用下,由局部小范围的变形逐渐延伸扩大最终演变为整体破坏的灾变过程,在此过程中,控制边坡变形得到因素也是“动态”变化的^[1-3]。长期以来,在边坡施工时为了方便都是先将边坡直接开挖到底,然后再进行支护或者根本不支护,这样的行为就是对边坡缺乏“动态变化理论”的考虑,将会导致边坡在开挖过程中发生失稳破坏,造成工期的延长和成本的增加^[4-7]。

本文以赣深高速道路的高边坡为例,对该边坡进行多级开挖,并对该边坡进行多级支护,对比分析未支护和及时支护后的边坡在多级开挖后的稳定性。

1 数值模型的建立

1.1 工程概况

赣深高速道路宽 24.50 m,双向四车道,赣深高速公路 RK1058+600 右侧路堑边坡高约 60 m。该坡体地质情况复杂,属于典型的多级复杂性土坡。照片 1 为该滑坡全貌图。

1.2 地质概况

1.2.1 气象及水文

工作区气候湿润温和,雨量丰沛;春早、夏热;秋、冬连续绵雨,日照少,湿度大;为勘察区气候的基本特征。

场地处于斜坡地带,滑坡区内未发现泉水(井)点,无地表水体。



照片 1 滑坡全貌图

1.2.2 地形地貌

滑坡区位于一条近于东西向的山沟北坡较厚的崩塌堆积体上,地貌为一斜坡地形,总体北西侧高、南东侧低,斜坡自然坡度角 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$,坡向为 142° 。场地地貌上为剥蚀中山地貌形态。

1.2.3 地层结构

根据地表工程地质测绘及钻探成果表明:上部土层主要为粉质黏土,中间主要为砂质粘性土,下伏基岩主要为弱风化砂岩。

1.3 模型建立

赣深高速公路 RK1058+600 右侧路堑边坡二次开

挖拟采用从上到下大面积削坡的方式,根据设计要求,二次开挖的时候分为八级开挖,第一~三级坡比为 1: 1.25,第四~六级坡比为 1: 1,第七、八级坡比为 1: 0.75,台阶宽度为 2.00 m。边坡开挖模型如图 2 所示。边坡岩土体的物理力学参数如表 1 所示。

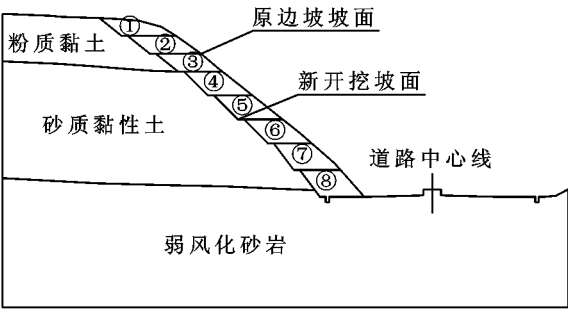


图 2 边坡开挖模型

表 1 边坡岩土体物理力学参数

岩性	重度 /(kN/m ³)	黏聚力 /kPa	内摩擦角 /(°)	弹性模量 /GPa
粉质黏土	19.6	28	32	0.8
砂质黏性土	20.8	32	35	1.2
弱风化砂岩	25.4	450	45	2.8

1.4 原坡体稳定性计算求解

为了方便结果的描述,对边坡开挖面上几个特殊的节点进行了监测,如图 3 所示。

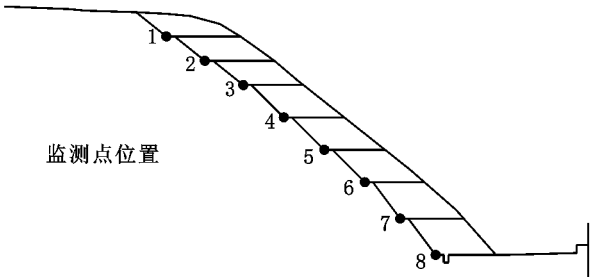


图 3 监测点位置示意图

当坡体没有进行开挖时,利用有限元强度折剪法对其进行计算分析,得到坡体的安全系数为 1.248,图 4 为未开挖坡体变形图。

2 边坡无支护分级开挖结果分析

对坡体按上述开挖方式从上往下进行逐级开挖,每一步开挖之后利用有限元强度折减法计算其安全系数。因篇幅有限,只列出开挖步四和开挖步八的坡体变形

图,图 5 和图 6 分别为开挖步四和开挖步八的坡体变形图。

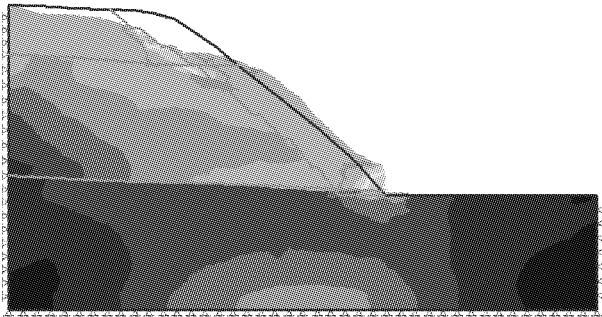


图 4 未开挖坡体变形图

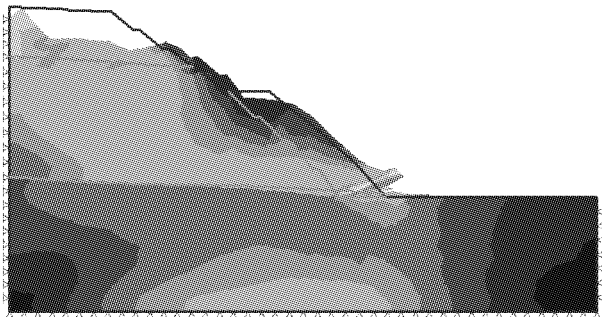


图 5 坡体变形图(开挖步四)

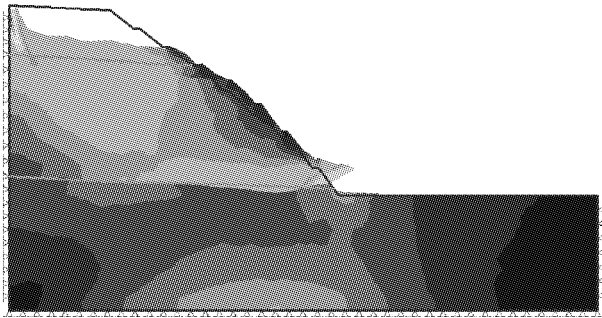


图 6 坡体变形图(开挖步八)

2.1 不同开挖时步对边坡安全系数的影响

表 2 为不同开挖时步边坡安全系数计算值,图 7 为安全系数随边坡开挖过程变化的曲线图。

由图 7 可知,随着开挖的进行,坡体的安全系数总体呈现逐渐降低趋势,部分存在波折。未开挖前,边坡的安全系数为 1.248,边坡处于稳定状态;开挖第一步,边坡的安全系数变为 1.221,说明开挖对边坡的扰动影响很大,使边坡应力重分布;但开挖第二步后,边坡的安全系数有所回升,其原因可能为:一是开挖部分土体后,使得边坡的自重减小,下滑力减小,从而稳定性提高;二是新开挖部分坡体的推动力不足以使下部未开挖部分

的坡体发生变形,这意味这下部未开挖部分坡体可以充当类似于挡土墙的作用,阻止上部坡体发生下滑。到开挖第三步结束后,边坡的稳定性系数达到局部开挖最大值,但随着开挖的进行,边坡安全系数呈明显下滑的趋势,原因是坡脚被大面积开挖,削弱了其支撑力,造成上部坡体可能整体滑动,形成推动式滑坡。直到最终开挖结束,边坡的安全系数降为 1.115,开挖结束后边坡安全系数明显降低,可见这种开挖无支护施工方法具有较大的潜在危险。

表 2 不同开挖时步边坡安全系数计算值

开挖时步	0	1	2	3	4	5	6	7	8
安全系数	1.248	1.221	1.224	1.212	1.191	1.162	1.150	1.144	1.115

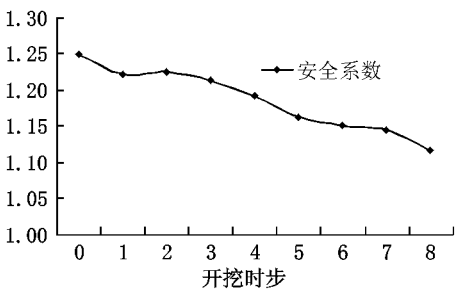


图 7 边坡安全系数随开挖过程变化曲线图

2.2 不同开挖时步边坡竖向位移变化过程分析

边坡按照从上到下逐级开挖后,对监测点的竖向位移进行分析,边坡的竖向位移大部分向下,直到开挖至第五步后,测点 5~8 显现出向上回弹的趋势,表 3 为坡体逐级开挖过程中各监测点的竖向位移结果。

表 3 未支护前边坡分级开挖后监测点竖向位移结果

竖向位移		开挖步								cm
		1	2	3	4	5	6	7	8	
监测点位置	1	-1.77	-2.43	-4.34	-13.21	-15.35	-13.82	-11.74	-9.26	
	2	-2.31	-2.11	-2.73	-10.31	-12.43	-9.25	-10.09	-9.63	
	3	-3.89	-1.43	-3.27	-9.14	-10.86	-4.75	-8.79	-7.83	
	4	-10.75	-6.18	-2.23	-4.35	-5.44	-2.44	-5.35	-4.27	
	5	-11.19	-14.14	-13.32	-6.38	0.47	0.56	-2.07	1.21	
	6	-5.51	-8.59	-11.38	-6.43	0.19	3.25	1.03	2.29	
	7	-0.67	-0.89	-1.15	-2.27	-1.98	0.13	0.83	0.43	
	8	-0.63	-0.78	-0.99	-2.01	-1.68	0.11	0.67	0.42	

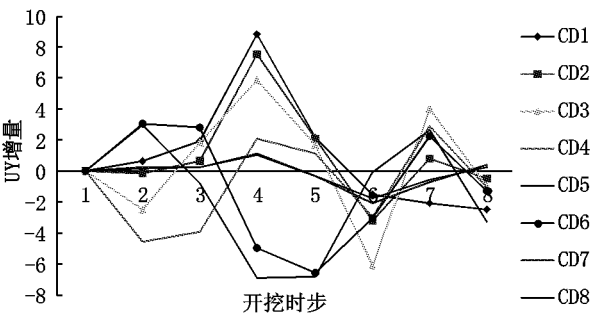


图 8 边坡上测点 UY 增量(竖向位移)与开挖时步关系图

由图 8 结果可知:(1)测点 1~4 的竖直位移先增大后减小,测点 5~6 的竖直位移先增大后减小再增大,最后趋于稳定,测点 7~8 在前四步增量不明显;(2)所有测点在第五步开挖之后,竖向位移量值均出现回落。

2.3 不同开挖时步边坡水平位移变化过程分析

边坡按照从上到下逐级开挖后,对监测点的水平位

移进行分析,开挖过程中各测点的水平位移均指向坡体外侧,表明边坡岩体在坡床的作用下被“挤出”的趋势,表 4 为坡体逐级开挖过程中各监测点的水平位移结果。

由图 9 结果可知:(1)测点 1 的水平位移在前 3 步随开挖步的增加逐渐增大,但从第四步开始逐渐稳定;(2)测点 2~3 的水平位移量值较测点 1 相差不大,且从第四步起逐渐回落,总的变形量较小;(3)测点 4~6 则表现出先增大后减小的趋势,在第四步开挖之后逐渐趋于稳定;(4)测点 7~8 的水平位移较其余的测点都要小,除前两步开挖对其有影响外,第四步开挖后,其水平位移增量逐渐趋于稳定。

2.4 小 结

采用开挖后无支护方式开挖边坡,边坡开挖第一步到第三步,边坡的最大水平位移在原坡脚处,到开挖第四步,边坡的最大水平位移出现在第四步开挖完后的现

坡脚处。说明采用这种施工方法开挖边坡,前三步边坡可能的失稳情形主要是沿原坡面产生滑动,而到第四步后,边坡可能的失稳情形变为沿新开挖面发生滑动。

采用开挖后无支护方式开挖边坡,竖向位移最大值发生在开挖部分的坡顶处,每级开挖前一级边坡存在回弹现象。

表 4 未支护前边坡分级开挖后监测点水平位移结果									cm
水平位移		开挖步							
		1	2	3	4	5	6	7	8
监测点位置	1	4.23	5.32	7.16	9.35	11.34	13.23	15.04	16.81
	2	6.28	7.47	9.36	11.48	13.44	15.33	17.21	19.04
	3	9.69	10.74	12.71	14.85	16.78	18.61	20.35	22.08
	4	12.13	14.21	16.92	19.33	21.28	22.93	23.75	24.16
	5	13.41	15.38	18.32	19.84	20.27	20.82	21.3	21.73
	6	12.15	14.13	16.83	17.53	18.32	18.34	17.45	16.99
	7	10.86	12.23	13.37	13.96	14.35	14.67	14.32	13.97
	8	9.88	11.23	12.34	12.32	12.21	12.26	12.14	12.11

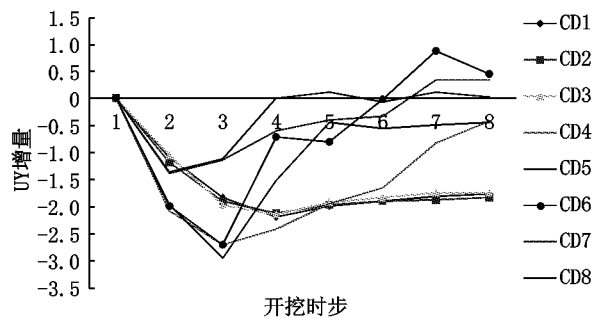


图9 边坡上测点 UX 增量(水平位移)与开挖时步关系图

综上所述,边坡在开挖完前三步后,位移变化不明显,安全系数趋于稳定,但在第四步后位移逐渐增大,安全系数开始减小,此时边坡处于最不稳定状态。

因此,研究决定拟在第三步开挖完成后开始对边坡实施加固措施,然后从第四步开始,每开挖一级支护一级。每级边坡均采用 3 排 12.00 m 长 HRB335Φ32 全长珠江锚杆进行浅层支护,锚杆与水平方向的倾角均为 15°,锚杆设计锚固力 50 kN,预应力锚索设计锚固力 1 000 kN,各锚杆支护措施间距均取 2.00 m。图 10 为拟加固方案示意图。

3 边坡及时支护分级开挖结果分析

3.1 及时支护后边坡安全系数变化

在开挖完第三步后,及时对坡体进行支护,表 5 为支护后边坡安全系数变化值。

由图 11 可以看出,及时支护后,边坡的安全系数在每一步都大幅增加,虽然在开挖后期安全系数逐渐减

小,但是减幅度较小,还是比开挖前的坡体安全系数大,因此及时支护对边坡的稳定性非常有利。

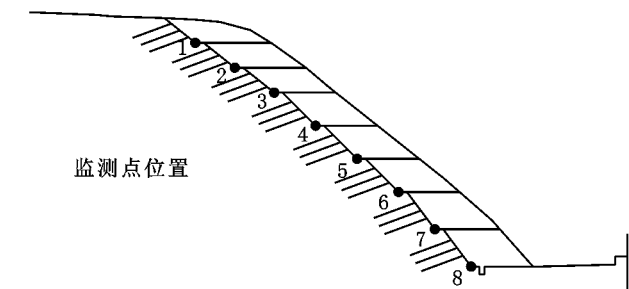


图 10 边坡拟加固方案

表 5 及时支护后边坡安全系数计算值									
开挖时步	0	1	2	3	4	5	6	7	8
安全系数	1.248	1.221	1.224	1.212	1.191	1.162	1.150	1.144	1.15

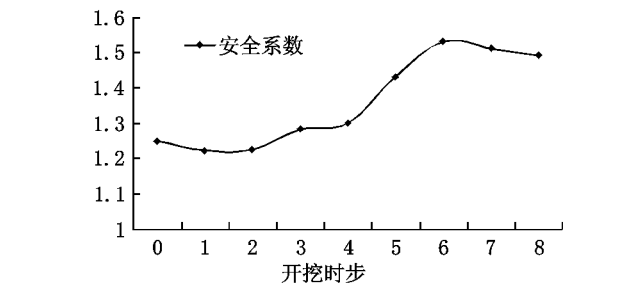


图 11 及时支护后边坡安全系数随开挖过程变化曲线图

3.2 及时支护后边坡竖向位移变化过程分析

在开挖完第三步后,及时对坡体进行支护,表 6 为支护后边坡各测点竖向位移随开挖步变化过程表。

表 6 支护后边坡分级开挖后监测点竖向位移结果

cm

竖向位移		开挖步							
		1	2	3	4	5	6	7	8
监测点位置	1	-1.77	-2.43	-4.34	-11.24	-13.76	-11.97	-10.16	-8.14
	2	-2.31	-2.11	-2.73	-8.13	-10.19	-8.73	-9.43	-8.13
	3	-3.89	-1.43	-3.27	-7.57	-8.56	-4.23	-7.79	-6.83
	4	-10.75	-6.18	-2.23	-3.76	-4.12	-3.78	-4.79	-3.61
	5	-11.19	-14.14	-13.32	-5.83	0.32	0.41	-1.07	0.42
	6	-5.51	-8.59	-11.38	-5.12	0.06	2.15	0.33	1.06
	7	-0.67	-0.89	-1.15	-1.83	-1.45	0.18	0.46	0.16
	8	-0.63	-0.78	-0.99	-1.94	-1.56	0.21	0.41	0.27

由表 6 可知,边坡及时支护情况下各测点 UY 增量(竖向位移)与开挖时间步和无支护情况下基本一致,但是边坡开挖后及时支护情况下各测点最终 UY 值(竖向位移)较未及时支护情况要小,也反映了边坡开挖后

及时支护对稳定边坡减小竖向位移有重要意义。

3.3 及时支护后边坡水平位移变化过程分析

在开挖完第三步时,及时对坡体进行支护,表 7 为支护后边坡各测点水平位移随开挖步变化过程表。

表 7 支护后边坡分级开挖后监测点水平位移结果

cm

水平位移		开挖步							
		1	2	3	4	5	6	7	8
监测点位置	1	4.23	5.32	7.16	9.12	10.12	12.11	13.46	14.61
	2	6.28	7.47	9.36	11.12	13.01	14.78	16.09	17.11
	3	9.69	10.74	12.71	14.38	16.12	17.64	19.17	20.72
	4	12.13	14.21	16.92	19.18	20.63	21.37	22.16	25.03
	5	13.41	15.38	18.32	18.84	19.27	19.91	20.68	20.79
	6	12.15	14.13	16.83	17.25	17.79	17.93	17.19	16.42
	7	10.86	12.23	13.37	13.14	14.31	14.57	14.28	13.88
	8	9.88	11.23	12.34	12.25	12.18	12.14	12.09	12.01

由表 7 中结果可以得到,边坡及时支护情况下各测点 UX 增量(水平位移)与开挖时间步与无支护情况下基本一致,但是边坡开挖后及时支护情况下各测点最终 UX(水平位移)值较未及时支护情况要小,也反映了边坡开挖后及时支护对稳定边坡减小水平位移有重要意义。

4 结 论

根据对改建边坡分别在无支护和有支护情况下开挖过程进行数值模拟计算分析,主要结论如下:

(1)采用开挖后无支护方式开挖边坡,边坡的安全系数随着开挖的进行总体呈现逐渐降低的趋势,可见这种施工方法具有较大的潜在危险。同时采用及时支护方式开挖的边坡安全系数在开挖早期有所降低,但后期逐渐增加,因此这种方式对边坡的稳定性极为有利。

(2)对比计算分析无支护和有支护情况下对边坡进行分级开挖,计算结果表明,开挖过程中如果对坡体进行及时支护,坡体的水平位移最大值和竖直位移最大值均有所下降。

(3)研究开挖过程中的边坡变形规律及其稳定性,寻求合理的开挖支护方法及边坡加固措施,对于确保扩建边坡工程的安全稳定有着重要意义。

参考文献:

[1] 孙志彬,杨小礼,张胜,等. Mohr - Coulomb 准则下基于滑动面深度的边坡参数反分析方法[J]. 岩土力学,2014,35(5):1323 ~ 1328.

[2] 朱哈达,马美玲,尚岳全. 顺倾向层状岩质边坡溃曲破坏分析[J]. 浙江大学学报,2004,38(9):1144 ~ 1149.

[3] 姚环,郑振,简文彬,等. 公路岩质高边坡稳定性的综合评价研究[J]. 岩土工程学报,2006,28(5):558 ~ 563.

[4] 王家臣,孙书伟. 露天矿边坡工程[M]. 北京:科学出版社,2016.

[5] 张保元,王士天,王兰生. 工程地质分析原理[M]. 北京:地质出版社,

1994.

析方法探讨[J]. 岩土力学, 2014, 35(10): 2977 ~ 2980.

[6] 介玉新, 柏永亮, 张彬. 基于加速度的边坡和挡土墙稳定性分析[J].

编辑: 张绍付

地球科学与环境学报, 2015, 37(6): 120 ~ 126.

[7] 赵炼恒, 曹景源, 唐高朋, 等. 基于双强度折减策略的边坡稳定性分

Research of high slope in excavation and support

CHEN Yuancheng

(Geological Brigade of South JiangXi Province, Jiangxi GanZhou 341000, China)

Abstract: The stability of slope is a combination of external factors. By the local deformation extended and evolved into the overall destruction of disaster process eventually. In the process, the factors of controlling the deformation of slope is “dynamic”. The multistage slope of not supported is excavated. The stability and deformation of slope are analyzed under different steps. The slope is supported according to the results of the calculation. The stability and deformation of slope are analyzed under supported. The comparison results show. If the slope is supported in timely. The safety factor of slope is reduced in the early excavation. But it will increase in the late. The monitoring points of horizontal displacement and vertical displacement of the slope both reduce after supported.

Key words: High slope; Classification of excavation; Stability analysis

翻译: 陈愿成