

# 降雨对凝灰岩高边坡稳定性影响及防护措施分析

孙明超<sup>1</sup>, 胡玉杰<sup>2</sup>

(1. 长安大学公路学院, 西安 710064; 2. 济南大学泉城学院, 山东 蓬莱 265600)

**摘要:**凝灰岩遇水会软化、崩解,因此凝灰岩高边坡稳定性受降雨影响大。结合高边坡稳定性已有研究理论和广东省某高速公路改扩建项目中凝灰岩高边坡工程实例,阐述了分布于广东地区的凝灰岩工程特性,分析了受降雨影响后凝灰岩高边坡失稳的破坏机理,发现降雨是导致凝灰岩高边坡失稳破坏的主要原因,阻止雨水入渗是确保凝灰岩高边坡稳定的关键;通过对比分析工程实例中三次变更方案内容,结合各个方案实施后的结果分析了各方案特点;结合工程实例,对凝灰岩高边坡设计、阻止雨水入渗措施、采取合理防护等稳定措施进行了工程经验总结。

**关键词:**凝灰岩高边坡;降雨入渗;边坡防护;边坡稳定性

**中图分类号:**TU444

**文献标志码:**A

## 引言

凝灰岩在我国广东等地分布较广,凝灰岩工程遇水易变,而广东地区雨水丰沛,因此在该区进行公路、铁路建设施工,不可避免的要面临凝灰岩高边坡稳定性问题。边坡若发生溜滑等病害,将给施工、运营带来巨大损失,因此高边坡稳定性是重大工程建设的首要工程地质问题和岩石力学问题<sup>[1-4]</sup>。本文依托广东省某高速公路改扩建项目,结合凝灰岩高边坡现场施工过程中发生的病害以及加固防护方式,对凝灰岩高边坡稳定性进行研究,为今后在广东地区凝灰岩高边坡工程设计施工提供理论支持和工程借鉴。

## 1 工程概况

该高速公路沿线有多个凝灰岩高边坡,风化程度较高、岩体破碎、裂隙发育,并具有明显的土石界面;边坡岩体工程地质条件差,该区雨季长、降雨多,施工与降雨双重干扰,易诱发边坡变形失稳。选取沿线最典型的凝灰岩高边坡,该边坡共5级边坡,岩体主要为凝灰岩,其

中一级边坡为微风化凝灰岩,二、三级边坡为中风化凝灰岩,四、五级边坡由凝灰岩向第四系覆盖层过度。由于边坡岩性差,强降雨影响导致该边坡开挖过程中共发生过大小2次溜滑,且防护措施多样化,因此对研究降雨引起的凝灰岩边坡稳定性具有较高的代表性。第一次溜滑如图1所示。



图1 边坡第一次溜滑全貌

## 2 凝灰岩工程特性

凝灰岩是一种火山碎屑岩,在广东省内分布较广,根据地勘资料,该工程中涉及的凝灰岩属于软质岩石,

收稿日期:2016-10-23

作者简介:孙明超(1990-),男,山东青州人,硕士生,主要从事岩土工程方面的研究,(E-mail)987904690@qq.com;

胡玉杰(1991-),女,山东潍坊人,硕士生,主要从事管理学方面的研究,(E-mail)642441906@qq.com

工程特性较差,主要表现为:

(1)强度低。根本原因在于凝灰岩的成岩作用差,或者后期变化使其强度降低,承载能力差,抗剪强度低。

(2)变形模量小。堆载、卸载、地震等外界影响下,易产生较大的沉陷或不均匀变形。

(3)水理性质差。凝灰岩遇水易软化、崩解,含水量变化时易出现明显的膨胀或收缩,长期高水头作用下,可能出现管涌或潜蚀等现象<sup>[5-6]</sup>。因此在广东地区,水理性质是影响凝灰岩稳定性的重要因素。

(4)流变效应明显,长期强度低,因此凝灰岩高边坡长期稳定性较差。

### 3 降雨对凝灰岩边坡稳定性影响

#### 3.1 凝灰岩边坡稳定性相关研究

高边坡稳定性是岩土工程界研究的一个重要课题,而降雨又是影响边坡稳定的重要因素,国内外相关学者对其进行了深入的研究。

Schulze O<sup>[7]</sup> 基于岩盐,Oda M T<sup>[8]</sup> 基于花岗岩、Wang J A<sup>[9]</sup> 基于沉积岩研究了岩体中水的渗透规律。刘力英<sup>[10]</sup> 结合广东地区工程实例,用 surfer 软件生成实际地形曲面,采用有限元软件计算分析了强降雨和地震作用对岩质高边坡的影响。刘洪磊<sup>[11]</sup> 通过全应力应变过程渗透性试验,对凝灰岩破坏全过程渗流演化规律进行研究。尚涛<sup>[12]</sup> 通过对凝灰岩质高边坡调查分析,研究了凝灰岩质高边坡的特性。张卓<sup>[13]</sup> 采用非饱和土抗剪强度理论与有限单元法,对降雨入渗条件下岩体边坡稳定问题进行研究。平扬<sup>[14]</sup> 结合工程实例,提出了一种降雨入渗条件下,考虑岩土体开裂边坡稳定性分析方法。付宏渊<sup>[15]</sup> 运用二维渗流数值计算方法,对降雨条件下的边坡稳定性变化进行了模拟。

#### 3.2 该边坡失稳破坏过程

该凝灰岩高边坡两次失稳破坏皆因持续多日强降雨所致,发展过程几近相同,病害起始部位都位于三级边坡,在降雨初期,病害表征为平台开裂,水沟开裂,坡面有冲刷痕迹;随着降雨的持续,雨水灌入裂缝中,平台裂缝不断加宽、延长,坡面出现裂缝,继而平台边缘开始溜滑,然后发展为坡体局部溜滑,溜滑物为软化崩解后的凝灰岩,强度低至徒手可捏碎;三级边坡溜滑区不断扩大,牵动上部四级、五级边坡分别发生溜滑。现场该边坡第二次溜滑病害发展如图2~图4所示。

#### 3.3 破坏机理分析

凝灰岩遇水软化、崩解后,工程性质介于岩质与土



图2 岩体开裂



图3 平台下沉边缘溜滑



图4 三级坡溜滑牵动四级坡

质之间,凝灰岩高边坡受降雨影响失稳破坏,与“渐变式破坏机理”较为吻合。首先,降雨初期雨水不断增加,根据饱和-非饱和理论,降雨会改变岩土体含水量,在边坡表层形成暂态饱和区,改变岩土体的孔隙水压力,增加自重;随着降雨持续,边坡接受雨水不断补给,凝灰岩边坡表层风化岩体裂隙发育,渗透系数较大,边坡表层岩体内雨水瞬态运动和水压分布会进而影响边坡稳定状态,增大滑动土体的剪应力,雨水软化岩土体,润滑滑动面,同时雨水入渗也会降低岩土体的抗剪强度和基质吸力,凝灰岩本身具有遇水崩解、软化特性,强度迅速降低,凝灰岩软化后以溜滑物形式溜滑,最终诱发边坡失稳破坏。

## 4 防护措施分析

### 4.1 边坡设计方案

该边坡按原有设计方案施工过程中,由于降雨和开

挖扰动影响发生第一次失稳破坏,然后对原设计方案进行变更,按变更方案施工后三级边坡仍因降雨发生了第二次溜滑,再次对病害区进行变更,最后完成边坡开挖。设计方案汇总见表1,方案概略图如图5、图6所示。

表1 边坡设计方案汇总

边坡	一级边坡	二级边坡	三级边坡	四级边坡	五级边坡	结果
原有方案	1:0.5,坡高10 m、平台宽2 m;绿化防护。	1:0.75,坡高10 m、平台宽2 m;绿化防护。	1:0.75,坡高10 m、平台宽2 m;“锚杆框架梁+绿化”防护。	1:1,坡高10 m、平台宽2 m;“锚杆框架梁+绿化”防护。	1:1.25到顶;拱形骨架内三维网植草。	三级边坡开挖时,遇强降雨三、四、五级边坡溜滑。
变更方案1	1:0.75,坡高10 m、平台宽2 m;绿化防护。	1:1.0,坡高10 m、平台宽15 m;绿化防护。	1:1.25,坡高10 m、平台宽2 m;“锚杆框架梁+绿化”防护。	1:1.25,坡高10 m、平台宽2 m;“锚杆框架梁+绿化”防护。	1:1.25到顶;拱形骨架内三维网植草。	三级边坡局部溜滑
变更方案2	—	二级平台用素混凝土硬化平台表面	溜滑区“素混凝土护壁+锚杆框架梁”,溜滑区两侧增设急流槽,坡体增设排水管	—	—	三级边坡溜滑区未溜滑

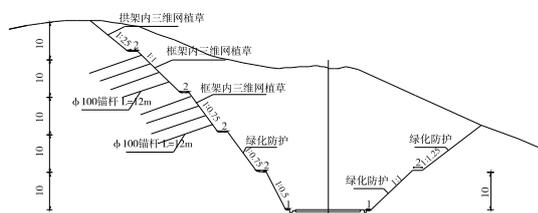


图5 边坡原设计方案

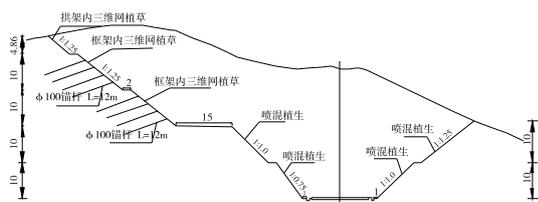


图6 边坡变更方案

### 4.2 设计方案分析

对比分析三个方案的内容变化,针对该高边坡凝灰岩工程特性及裂隙发育,主要从以下三个角度增强边坡稳定性:

(1)坡率放缓。原有设计方案坡率较小,凝灰岩遇水软化、崩解,强度降低,易使得边坡失稳破坏。变更方案1将边坡坡率放缓后,在一定程度上增大了边坡的安全系数。

(2)平台加宽。变更方案1中二级边坡平台放宽至15 m,能有效增大三级边坡下部对上部的支撑力,防止上部发生溜滑时溜滑物向下滚落至高速公路影响安全运营。

(3)“工程+植被”综合防护。素混凝土护壁有效的阻止了降雨入渗三级、二级边坡破体内部,锚杆格梁

加固使得安全系数增大,边坡稳定性增强,两侧急流槽能将坡面雨水排出,排水管可排出坡体雨水,有效阻止或减轻凝灰岩遇水软化、崩解。三维网植草不仅能固土壤,一定程度防降雨入渗岩隙之中,还可以美化边坡、保护生态。

## 5 结论

本文通过借助工程实例,对凝灰岩高边坡在降雨入渗后的稳定性变化,以及如何采取支护措施进行研究,所得结论如下:

(1)凝灰岩遇水软化、崩解的内在特性,是凝灰岩高边坡受降雨影响失稳破坏的根本原因,因此阻止雨水入渗是确保凝灰岩高边坡稳定的关键。

(2)在多雨地区做凝灰岩边坡设计时,下部边坡平台可宽于上部边坡平台,坡率应根据边坡设计高度进行放缓。

(3)阻止雨水入渗。坡面进行生态绿化时,应种植优良品质的植被,例如紫穗槐、胡枝子、马棘、盐肤木、多花木蓝、夹竹桃、枸骨、火棘、山桅子,上述植被混合种植绿化效果更佳;若边坡不具备植被存活条件,采用素混凝土封闭坡面,防止雨水从坡面入渗坡体;截、排水沟以及急流槽等排水设施应完备,能及时排除坡面、坡体雨水。

(4)支护措施应合理。对于微风化凝灰岩边坡可采用“锚杆(索)框架梁+喷混植生”,对中风化凝灰岩边坡可采用“锚杆(索)框架梁+素混凝土护壁”。

(5)在凝灰岩高边坡开挖过程中,施工工序要合理,

支护措施要随挖随支;对已出现开裂的坡面、平台,可用水泥浆临时封缝避免病害进一步恶化。

#### 参考文献:

- [1] 黄润秋.岩石高边坡发育的动力过程及其稳定性控制[J].岩石力学与工程学报,2008(8):1525-1544.
- [2] 张江伟,李小军,迟明杰,等.滑坡灾害的成因机制及其特征分析[J].自然灾害学报,2015(6):42-49.
- [3] 覃小华,刘东升,宋强辉,等.强降雨条件下基岩型层状边坡入渗模型及稳定性研究[J].岩土力学,2016(11):1-9.
- [4] 余靖辉,付敏,穆程,等.红砂岩边坡降雨入渗变形机理分析[J].公路工程,2016(2):221-225.
- [5] 王清来,田昌进.某种凝灰岩的内在特性研究[J].采矿技术,2010(3):106-107,120.
- [6] 蒋志明,马洪杰,田保同,等.澜沧铅矿凝灰岩膨胀性微观分析研究[J].路基工程,2013(2):83-85,88.
- [7] SCHULZE O,POPP T,KERN H.Development of damage and permeability in deforming rock salt[J].Engineering Geology,2001,61(2/3):163-180.
- [8] ODA M T,TAKEMURA A,AOKI T.Damage growth and permeability change in triaxial compression tests of Inada granite [J].Mechanics of Materials,2002,34:313-331.
- [9] WANG J A,PARK H D.Fluid permeability of sedimentary rocks in a complete stress-strain process[J].Engineering Geology,2002,63(3/4):291-300.
- [10] 刘力英,魏立新.岩质陡高边坡稳定性评价与防治措施[J].四川理工学院学报:自然科学版,2016,29(1):59-63.
- [11] 刘洪磊,杨天鸿,于庆磊,等.凝灰岩破坏全过程渗流演化规律的实验研究[J].东北大学学报:自然科学版,2009(7):1030-1033.
- [12] 尚涛,赵亘,沈宇.凝灰岩质路堑高边坡特性及设计分析[J].公路交通科技:应用技术版,2010(4):49-50.
- [13] 张卓,练继建,杨晓慧,等.岩质边坡在降雨条件下的稳定性分析[J].哈尔滨工业大学学报,2009(10):202-205.
- [14] 平扬,刘明智,郑少河.降雨入渗条件下的膨胀土边坡稳定性分析[J].岩石力学与工程学报,2004(S1):478-484.
- [15] 付宏渊,曾铃,王桂尧,等.降雨入渗条件下软岩边坡稳定性分析[J].岩土力学,2012(8):2359-2365.

## Analysing and Protection Measures of the Rainfall Effect on Stability of Tuff High Slope

SUN Mingchao<sup>1</sup>, HU Yujie<sup>2</sup>

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. University of Jinan Quancheng College, Penglai 265600, China)

**Abstract:** The tuff in water will be softening and disintegration, so the stability of high slope influenced by the rainfall. Combining the existed theory concerned the stability of high slope and making tuff high slope of Guangdong province expressway extension project as an engineering example, the engineering characteristics of tuff in the Guangdong area are expounded and the destruction mechanism of tuff high slope because of raining is analysed. Stopping the rain infiltration is found to be the key to ensure the tuff slope stability, comparing three solutions of tuff high slope in the instance. Engineering experiences of designing tuff high slope, preventing the rain infiltration and adopting the reasonable supporting measures are concluded.

**Key words:** tuff high slope; rainfall infiltration; slope support; slope stability