

## 三峡水库某公路边坡支护方案设计以及稳定性分析

乔素云<sup>1,2</sup> 王少华<sup>2</sup> 尹金涛<sup>2</sup>

1 宜昌富强工程有限责任公司, 湖北 宜昌 443000

2 湖北三峡职业技术学院, 湖北 宜昌 443000

[摘要]文中选择的三峡库区某公路边坡,是地质条件较复杂、地质灾害严重的地区之一,滑坡、泥石流等灾害频繁发生,对库区移民的生命财产安全产生了严重威胁。随着三峡移民工程建设的实施,新集镇和移民公路修建,以及三峡水库库水位的不断升高,容易造成紧邻水库库岸的松散堆积土体和软弱岩体岸坡段的库岸发生滑坡、泥石流等地质灾害,对库区公路和建筑的安全及居民的生命财产安全将构成严重的威胁。对可能产生严重库岸再造的地段进行及时有效的防护,是三峡工程库区建设的重要任务之一。

[关键词]边坡稳定; Geo-Studio; 抗滑桩加固; 安全系数

DOI: 10.33142/aem.v4i5.6015

中图分类号: F270.7

文献标识码: A

### Scheme Design and Stability Analysis of Slope Support of a Highway in the Three Gorges Reservoir

QIAO Suyun<sup>1,2</sup>, WANG Shaohua<sup>2</sup>, YIN Jintao<sup>2</sup>

1 Yichang Fuqiang Engineering Co., Ltd., Yichang, Hubei, 443000, China

2 Hubei Three Gorges Polytechnic, Yichang, Hubei, 443000, China

**Abstract:** A highway slope in the Three Gorges Reservoir area selected in this paper is one of the areas with complex geological conditions and serious geological disasters. Landslides, debris flows and other disasters occur frequently, which poses a serious threat to the life and property safety of immigrants in the reservoir area. With the implementation of the Three Gorges resettlement project, the construction of new market towns and resettlement roads, and the continuous rise of the water level of the Three Gorges Reservoir, it is easy to cause geological disasters such as landslide and debris flow on the bank of the loose accumulated soil and soft rock slope adjacent to the reservoir bank, which will pose a serious threat to the safety of roads and buildings in the reservoir area and the safety of residents' lives and property. It is one of the important tasks of the reservoir construction of the Three Gorges project to timely and effectively protect the sections that may cause serious reservoir bank reconstruction.

**Keywords:** slope stability; Geo-Studio; anti slide pile reinforcement; safety factor

#### 引言

随着高速快速路的修建、深基坑工程的大量设计开挖、大型水利工程的不断设计修建,人为的切坡设计开挖而引起的滑坡塌方现象越来越多,而且由于环境条件的不断变化,在降雨、人工工程开挖、地震等各种因素作用下,滑坡可能向更加不利的方向发展,在滑坡侧界、后缘将出现裂缝,且随着变形的逐渐加重,滑坡失稳破坏将对前缘的基础设施、房屋建筑以及生命财产构成威胁,引发严重的灾害损失。因此,在各类工程建设中,开展滑坡分析评价与工程治理是十分必要和迫切的<sup>[1]</sup>。

边坡稳定性分析,以及一般的模拟仿真使用的模拟软件,基本上包括 GeoStudio、FLAC3D、ABAQUS 以及 ANSYS 等软件<sup>[2-4]</sup>。

常用的边坡分析方法归结起来可分为两类:即确定性方法和不确定性方法。极限平衡法是边坡稳定分析方法中发展历程比较长、应用比较广泛的一种分析方法。

本文以三峡库区某公路边坡为研究对象,使用岩土理正软件进行抗滑桩加固后,采用 Geo-Studio 软件,模拟天然、暴雨、地震和库水位升降四种工况,计算边坡安全系

数并与规范值进行对比,为边坡安全加固与维护提供建议。

#### 1 工程概况

该段库岸位于香溪河支流高岚河左岸,灵老爷隧道口东侧。滑移体前缘斜坡坡脚直抵高岚河左岸崩坡积平台,后缘为 S312 公路,目前形成陡坎地形,如图 1 所示。后缘高程约 187~189m,宽 8m,前缘高程在 161~162m 之间,宽 40m,其纵向长约 48m,呈扇形分布在斜坡上。后缘纵向长约 30m,深入公路路面下,主要在原崩坡积体上碾压修建公路而成;后缘公路陡坎以下为滑移段,地形稍陡,坡度为 0°~40°;前缘外侧为崩坡堆积体平台。

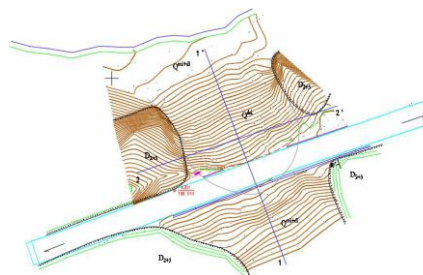


图 1 库岸损毁段工程地质平面简图

勘察资料表面,该边坡地层由上到下分别是泥盆系中上统、崩坡积层、滑坡堆积层,如图2所示。

泥盆系中上统(D2+3):主要出露青灰色砂岩及紫红色、青灰色粉砂质页岩。

崩坡积(Qcol+d1):以砂岩碎块石土为主,间夹粉质粘土及砂岩或粉砂质页岩块石组成,分布于滑坡后缘陡坎及侧缘平缓地带,厚3~5m。

滑坡堆积(Qdel):物质结构主要由碎块石土组成,零星含少量灰黑色炭质物,碎块石成分以粉砂质页岩、砂岩为主,局部长石砂岩,块径一般3~10cm,大者达10~50cm不等;上部土体呈硬塑状~可塑状,下部土体粘粒含量增加,局部夹泥,未见明显擦痕迹象,土石比约1:1。

同时,提出该段塌岸边坡稳定计算参数值,如表1所示。

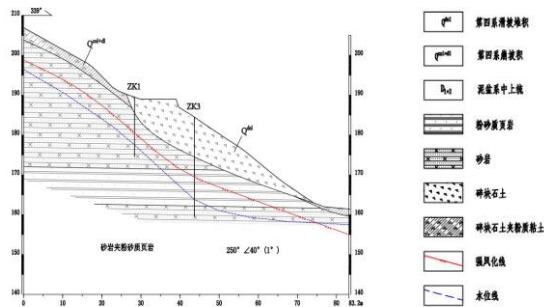


图2 地质剖面图

表1 模型计算参数

土层名称	天然重度 (g/cm <sup>3</sup> )	饱和重度 (g/cm <sup>3</sup> )	粘聚力 C/KPa	内摩擦角 /°
碎块石土	16.66	20.58	25	14
碎块石夹粉质黏土	17.15	20.09	18	22
粉砂质页岩	26.26	26.46	350	25
砂岩	26.66	26.95	1000	45

## 2 设计思路

边坡加固工程的加固原理是减小滑坡体的致滑力和提高滑坡体的抗滑力。目前工程项目中采用的边坡支护治理措施主要可分为削方减载、坡脚加载反压、坡体排水等,也可以加一些各种支挡结构,如挡土墙、抗滑桩、预应力锚杆(锚索)及其复合结构。支挡结构主要用于加固或拦挡不良地质体。目前,常用的边坡治理支挡结构大致有挡土墙、抗滑桩等。

表2 支挡结构的横向对比

方法	适用范围	优点	缺点
挡土墙	适用于挡土墙高在5~6m的小型边坡	就地取材、结构简单、经济效果好	工程量大、地基沉降大
抗滑桩	适用于浅层和中厚层的滑坡,具有明显滑动面,滑动面以上为非流塑性土体,以下为较完整岩体或密实土体。	适用于浅层和中厚层的滑坡,是一种抗滑处理的主要措施	造价较高、施工空间较大

根据该段库岸的地质结构和塌岸型式,该库岸段应采用抗滑桩和临时挡土板组合作为防护措施。此方案能够提供较大的侧向阻力,支挡滑体的滑动从而整治变形体的稳定性起到稳定边坡的作用。该方案工程期短、效果显著、消耗资源不多。

## 3 治理方案

拟于1-1'剖面180m高程位置设置抗滑桩,抗滑桩共设置11根。在滑带立面图的中间布置5根长度为14m的抗滑桩,在两侧分别均匀布置2根长度为13m的抗滑桩,布置方向垂直于1-1'剖面中危险滑带的滑床。抗滑桩截面尺寸都为2m×3m,桩中心间距4m,桩长度为14m、13m两种(见表3),桩嵌固段长度要大于或等于桩长的1/3。

表3 抗滑桩设计要素表

桩型	桩截面 (m <sup>2</sup> )	桩间距 (m)	桩长(m)	悬臂 桩长(m)	锚固 桩长(m)	桩数
A1	2×3	4	14	8.5	5.5	5
A2	2×3	4	13	8.5	4.5	4

### 3.1 理正岩土计算成果

用条分法中的传递系数法计算剩余下滑力,用理正岩土软件计算剩余下滑力如图3所示,计算结果:最后一块土体剩余下滑力为579.642kN,下滑力角度为33.690°。

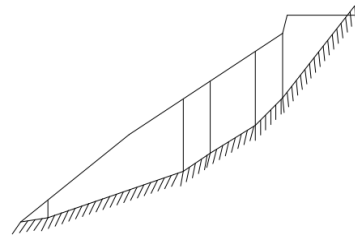


图3 边坡计算简图

通过将加固设计导入理正岩土计算,桩最大位移934mm,最大剪力为6553.720kN,最大弯矩为20552.369kN·m,参照2015年《公路路基设计规范》中桩侧地基横向容许承载力的计算公式,满足土反力小于地基土容许承载力(桩内力计算表格)。

### 3.2 FLAC3D 计算成果

使用FLAC3D软件对该边坡分别进行加固前和加固后的稳定性模拟,并进行分析。首先根据相关地质工程资料,截取该边坡的一部分作为建模对象,这部分也是即将进行加固的部分。用犀牛(Rhino)软件建立模型,画出不同的土层,然后整体生成网格,使用有限元计算方法。将生成的模型导入FLAC3D,开始进行模拟与分析。利用FLAC3D计算自然状态和抗滑桩加固后边坡的应力变形及安全系数,边坡计算模型底部标高为140m,模型尺寸如图4所示。分别在模型四周和底部分布施加方向位移约束,计算采用FLAC3D内的Mohr-Coulomb本构模型,边坡岩土体参数如表1所示。在该边坡的加固方案中,抗滑桩(C30混

凝土)共9根,在滑带立面图的中间布置5根长度为14m的抗滑桩,在两侧分别均匀布置2根长度为13m的抗滑桩。截面尺寸设置为2m×3m,桩与桩之间的中心距为4m,桩的长度分别为14m、13m,从右至左依次编号为1~9号抗滑桩,抗滑桩参数如表4所示,计算结果如图5-7所示。

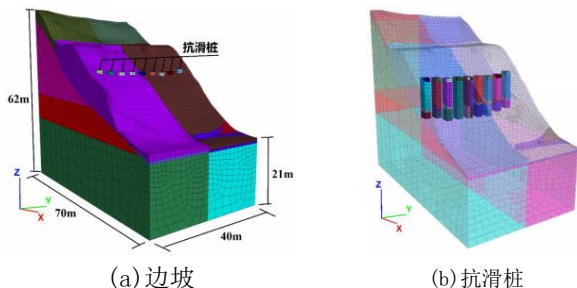


图4 边坡模型示意图

表5 抗滑桩计算参数

类型	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	抗拉强度 (MPa)	泊松比	粘聚力 (MPa)	内摩擦角 (°)	弹性模量 (GPa)
混凝土 C30	2.4	2	0.2	3.18	54.9	30

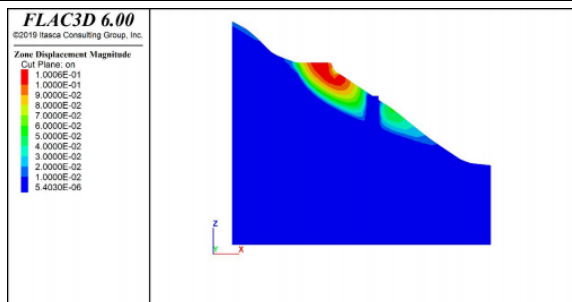


图5 抗滑桩加固后边坡总位移云图

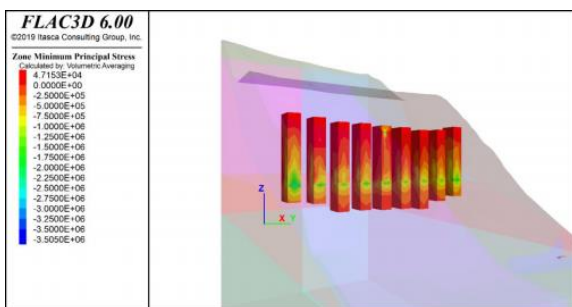


图6 抗滑桩最大主应力云图

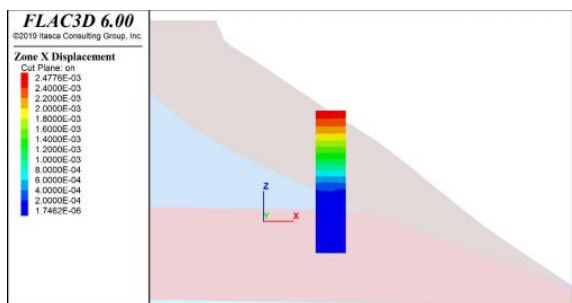


图7 抗滑桩 1-1' 剖面顺坡向位移云图

### 3.3 挡土板设计

挡土板按照均布荷载下的简支梁计算,挡土板的荷载宽度按照计算板长计算,荷载取最底层挡土板对应的土压力,按均布荷载分布。拟定挡土板的搭接长度0.5m,宽度3m,板厚30cm,根据理正岩土计算结果,挡土板内配筋计算见表6

表6 挡土板内力配筋计算表

板厚 (mm)	板下缘距顶距离 (m)	单块板弯矩 (kNm)	单块板全部纵筋面积 (mm <sup>2</sup> )
300	8.510	78.140	2460

### 4 结论

本文采用理正软件和FLAC3D软件,对三峡库区某公路边坡进行模拟和支护设计以及稳定性验算,得出以下结论:通过了解地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质、地震情况,研究工程区的地质环境基本特征。通过对地质资料中变形破坏影响因素分析,并结合工程现场踏勘情况,可以得到边坡可能的破坏模式为覆盖层内部的浅层滑动,尤其在受到暴雨侵蚀后,容易发生边坡失稳现象,在后续的破坏模式中以崩塌为主。

选择抗滑桩支护方式,借助理正岩土软件进行了桩体支护设计,并经过极限平衡计算和有限元分析验证加固效果,通过FLAC3D内的边坡强度折减法计算出抗滑桩加固后边坡安全系数为1.566,表明抗滑桩有效提高了边坡的整体稳定性。

基金项目:宜昌市自然科学研究项目《长阳清江画廊旅游码头深水基础施工研究》(项目编号A21-3-023);湖北省教育厅百校联百县项目(项目编号BXLBX1329)阶段性研究成果之一。

### 【参考文献】

- [1]何保,宋帅.基于GeoStudio的边坡稳定性分析及支护方案选择的理论探讨[J].地质与勘探,2019,55(5):1329-1335.
- [2]袁强.基于FLAC3D的边坡稳定性分析研究[D].北京:中国地质大学,2016.
- [3]贾林,康富,李付定.等.滑坡稳定性及其治理方法分析[J].工程建设与设计,2021(17):27-29.
- [4]田安家.分析地质灾害治理工程施工中边坡稳定问题及滑坡治理方法[J].西部资源,2019(5):83-84.
- [5]中交第二公路勘察设计研究院有限公司.公路路基设计规范:JTGD30-2015[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.

作者简介:乔素云(1973-)男,高级工程师,主要从事路桥施工工作;通讯作者:王少华(1983-)女,硕士研究生,讲师,主要从事路桥工程专业教学;尹金涛,男,讲师,主要从事路桥工程专业教学。