

# 平凉市某高速公路边坡滑坡稳定性分析及治理方案研究

李太平

(甘肃省公路建设管理集团有限公司, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 针对平凉市某高速公路边坡坡体产生的滑坡病害, 采用理正岩土软件中块体极限平衡法模块进行稳定性及下滑力验算。其中, 滑面采用折线型滑面, 滑坡的稳定系数采用较为严格的摩根斯顿-普莱斯法进行计算评价, 剩余下滑力则采用传递系数进行推力计算。根据滑坡现状及稳定性计算结果与评价, 采用桩板墙方案对该工程处治, 结果表明此处治方案既不影响既有治超站场地且滑坡体安全风险较低。

**关键词:** 高速公路; 滑坡; 桩板墙; 稳定性分析

中图分类号: U416

文献标识码: A

文章编号: 1006-7973 (2023) 01-0115-03

## 引言

为了控制高速铁(公)路边坡发生滑坡灾害, 通常采用抗滑支护措施。这些措施主要包括挡土墙和桩板墙(抗滑桩)<sup>[1-3]</sup>。挡土墙主要用于控制小型浅层滑坡, 其施工过程对滑坡稳定性有重大影响。此外, 修建挡土墙的成本明显高于修建抗滑桩的成本。因此, 抗滑桩在滑坡治理中得到了广泛的应用<sup>[4-5]</sup>。由于抗滑桩的广泛使用, 人们开发了各种桩结构, 从单桩到锚索抗滑桩、预应力抗滑桩、h型桩、门型桩和其他组合桩<sup>[6-7]</sup>。然而, 各种抗滑桩结构的设计原则保持不变。换句话说, 滑坡体继续被视为滑动破坏推力的来源, 而滑动破坏推力由抗滑桩直接抵抗, 作用在抗滑桩上的滑坡推力计算方法体现了抗滑桩设计的抗滑概念。文中依据平凉市某高速公路路堑边坡滑坡实际案例, 对已滑动面、潜在危险滑动面的稳定性分别进行计算。其次, 采用理正岩土软件中块体极限平衡法模块进行验算。最后采用抗滑桩对此边坡滑坡处治研究。以期研究结果可为以后类似工程提供借鉴作用。

## 一、工程概况



图 1 滑坡全貌平面图

该滑坡位于平凉市某高速公路路堑边坡, 如图 1 所示。治超站开挖边坡由于受降雨地表水、地下水及边坡开挖卸荷等诸多因素, 导致坡体产生变形, 长期变形后导致滑塌、滑坡发生。滑坡发生于路线 K1+907~K2+050 段治超站位置, 剪出口位于原设计一级边坡未开挖完成平台上, 灰黑色流泥

堆积、地下水积水, 坡面渗水。滑坡后壁位于截水沟后第二块台地坡脚位置, 后壁错台高约 1.5m, 裂缝深度约 4m, 宽度大于 50cm, 滑坡周界呈“圈椅”状, 经农道后延伸至挖方边坡, 滑坡体坡面开裂, 呈台阶状, 裂缝发育, 宽度 10~80cm 不等。

## 二、滑塌区地质背景

### 1. 地形、地貌

治超站段落地貌属黄土堆积侵蚀梁亚区, 场地位于山前斜坡, 地势开阔, 地形起伏不平, 整体向北倾, 坡面呈台阶状, 现开垦为耕地, 场地内地面最大高程为 1,800.0m, 最小高程为 1,750.0m, 相对高差 50m。场地北侧有省道通过, 交通便利。现已经开挖, 场地基岩泥岩出露, 部分边坡框格梁防护, 因边坡变形破坏, 框格梁发生位移变形。

### 2. 地层岩性

根据本次地质调绘及钻探成果, 滑坡区地层按其时代及成因分类: 第四系全新统滑坡堆积层 ( $Q_4^{del}$ )、第四系全新统坡积粉质粘土 ( $Q_4^{dl}$ )、上更新统冲积淤泥质土 ( $Q_3^{al}$ )、上更新统冲积粉质黏土 ( $Q_3^{al}$ )、上更新统冲积圆砾 ( $Q_3^{al}$ ), 古近系泥岩 (E), 古近系砂质泥岩 (E)。其工程地质特征如下:

① 滑坡堆积体 ( $Q_4^{del}$ ): 灰黑、黄褐色, 饱和, 软塑, 土质不均, 以淤泥质土为主, 顺坡分布, 厚度不等, 部分流泥, 据钻孔揭露, 厚度 12.2m; 其次为冲洪积圆砾, 红褐色, 饱和, 土质不均, 夹泥、粉质黏土。

② 第四系全新统坡积粉质粘土 ( $Q_4^{dl}$ ): 黄褐色, 稍湿-饱和, 可塑-软塑, 土质不均匀, 孔隙发育, 含植物根系。

③ 上更新统冲积淤泥质土 ( $Q_3^{al}$ ): 灰黑色, 稍湿-潮湿, 可塑, 土质不均, 以粉粘粒为主, 孔隙发育少, 岩芯呈短柱状, 切面光滑, 具腥臭味。

④ 上更新统冲积粉质黏土 ( $Q_3^{al}$ ): 黄褐色, 潮湿-饱和, 土质均匀, 以粉粘粒为主, 孔隙发育, 干剪强度高, 切面光滑, 岩芯呈短柱状, 岩芯有拉伸现象。

收稿日期: 2022-09-09

作者简介: 李太平 (1985-), 男, 甘肃省公路建设管理集团有限公司, 工程师。

⑤ 上更新统冲积圆砾 (Q3al), 黄褐色夹浅红色, 稍湿, 中密, 小孔隙发育, 土质不均匀, 含较多砾砂及钙质结核, 含量约占 20%, 可见最大粒径 20mm, 粘粒含量较高。

⑥ 古近系砂质泥岩 (E): 褐红色, 泥质结构, 层状构造, 成岩性差, 抗风化能力差, 主要矿物成分以粘土矿物为主, 局部夹砂岩薄层, 岩心呈饼状、碎块状, 遇水软化, 岩性软弱。

三、滑坡稳定性计算

1. 计算方法

该滑坡之滑动面呈折线型, 根据《公路路基设计规范》<sup>[8]</sup>传递系数法进行计算。滑坡剩余下滑力计算公式如下:

$$T_i = F_s W_i \sin \alpha_i + \psi_i T_{i-1} - W_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i - c_i L_i \quad (1)$$

$$\psi_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \tan \varphi_i \quad (2)$$

其中, 字母具体含义可见上述规范。

2. 计算剖面

结合该滑坡实际情况, 选取滑坡后壁所在部位, 采用理正岩土软件中块体极限平衡法模块进行稳定性及下滑力验算。滑面根据钻孔揭露以及后缘裂缝及前缘剪出口位置, 采用折线型滑面。滑坡的稳定系数计算方法采用较为严格的摩根斯顿-普莱斯法进行计算评价, 用传递系数法进行校核, 剩余下滑力则采用传递系数进行推力计算。

3. 计算工况

根据《公路路基设计规范》(JTG D30-2015) 中滑坡稳定性分析要求, 采用三种工况进行稳定性计算: 1) 工况一 (正常工况): 天然状态; 2) 工况二 (非正常工况 I): 暴雨 (地下水作用); 3) 工况三 (非正常工况 II): 地震作用。

4. 计算参数分析选用

(1) 地震参数: 根据《公路工程抗震规范》(JTGB02-2013), 稳定性计算中地震作用重要性修正系数采用 1.3, 地震综合影响系数取 0.25, 水平地震系数取 0.2。

(2) 稳定性标准及安全系数取值

根据工程等级、滑坡危害性以及对滑坡诱发的各种因素了解程度, 滑坡推力安全系数取值依据《公路路基设计规范》JTG D30-2015 取值表: 在正常工况下取 1.25; 非正常工况 I (暴雨) 情况下取 1.20; 在非正常工况 II (地震) 取 1.15; 根据《滑坡防治工程勘查规范》GB/T 32864-2016, 滑坡稳定性划分稳定状态, 见表 1。

表 1 滑坡稳定性划分

滑坡稳定系数	$F_s < 1.00$	$1.00 \leq F_s < 1.05$	$1.05 \leq F_s < 1.15$	$F_s \geq 1.15$
滑坡稳定状态	不稳定	欠稳定	基本稳定	稳定

5. 计算参数取值

依据滑坡现状, 后壁发育裂缝错台等, 勘察土工试验数据重度  $18.7 \text{ kN/m}^3$ , 饱和重度  $19.7 \text{ kN/m}^3$ 。按安全系数  $K=0.82$ , 重度取  $19.7$  进行反算, 取得  $c=8 \text{ kPa}$ ,  $\Phi=11^\circ$ 。根据岩土体试验统计及反算, 滑体参数如下表

2。

表 2 岩土体物理力学参数

土层类型	土体重度		天然状态抗剪强度		饱和状态抗剪强度	
	重度 ( $\text{kN/m}^3$ )	饱和重度 ( $\text{kN/m}^3$ )	粘聚力 C (kPa)	摩擦角 $\phi$ ( $^\circ$ )	粘聚力 C (kPa)	摩擦角 $\phi$ ( $^\circ$ )
滑坡土体及滑面	18.7	19.7	10	13	8	11

四、稳定性计算结果

按上述计算工况及参数取值对滑坡稳定性分别进行了三种工况下的稳定性及剩余下滑力计算, 计算结果如表 3。

表 3 稳定性计算及剩余下滑力计算结果

断面	工况条件	稳定系数	剩余下滑力 (kN)	稳定状态
K1+935 巴滑动计算断面	天然	1.0	455.944	欠稳定
	暴雨	0.82	755.145	不稳定
	地震	0.81	776.601	不稳定

根据工程等级和各类工况下进行了稳定性计算, 根据计算 K1+935 滑面在正常工况下处于欠稳定状态, 暴雨工况和地震工况下处于不稳定状态。

五、滑坡处治方案

综合考虑滑坡现状及以上稳定性计算结果, 拟在原施工图设计第二级平台处设置桩板墙, 抗滑桩截面拟采用  $2.5 \times 2.0 \text{ m}$  方桩, 抗滑桩施工前需在坡脚临时回填反压, 以加强抗滑桩人工挖孔时施工安全, 回填反压按滑坡在暴雨工况下稳定系数不小于 1.05 控制。考虑到桩前回填反压为临时工程, 抗滑桩施工完成后需重新挖除并清运走, 回填土体可能剪出滑面抗剪强度参数取  $c=10 \text{ kPa}$ ,  $\Phi=18^\circ$ , 计算结果如表 4。

表 4 桩前回填反压后稳定性计算结果

工况条件	稳定系数	稳定状态
暴雨	1.083	基本稳定
暴雨	1.104	基本稳定

抗滑桩桩长 28~30m, 桩顶高于原施工图设计第二级平台 2~6m, 桩顶设置 1m 平台, 以上按 1: 2.0~1: 5.0 刷方或回填平整坡面至改移农路前缘附近, 按上述计算工况进行了设桩处剩余下滑力计算, 计算结果如表 5。

表 5 设桩处剩余下滑力计算结果

断面	工况条件	下滑力计算安全系数	设桩处剩余下滑力 (kN)	稳定状态
K1+935 计算断面	天然	1.25	603.206	稳定
	暴雨	1.20	851.622	稳定
	地震	1.15	859.127	稳定

桩板墙方案按最大剩余下滑力为 859.127kN 设计抗滑桩, 各工况下均处于稳定状态, 以确保该项目运营安全。

六、结语

文中依据平凉市某高速公路路堑边坡滑坡实际案例, 前期通过地质调研和钻孔取样等手段确定滑坡土体物理力学参数。对两典型断面的已滑动面、潜在危险滑动面分别进行计算, 采用理正岩土软件中块体极限平衡法模块进行稳定性及下滑力验算。具体分天然状态、暴雨和地震作用三种工况进行稳定性计算, 结果表明: K1+935 滑面在正常工况下处于欠稳定状态, 暴雨工况和地震工况下处于不稳定状态; 当利用桩长 28~30m 抗滑桩处治此边坡滑坡后, (下转第 150 页)

过现场试验,从稳定效果、减少围堤沉降效果、减小水平位移效果等方面,对玻纤土工布与加筋软体排进行了对比分析,结果表明,玻纤土工布均具有明显优势。

从缩短工期,节省造价、降低不均匀沉降量等方面考虑,本工程围堰推荐采用有玻纤方案。

### 三、玻纤土工布经济性分析

#### 1. 与造地条件的变化

从表 3 与表 4 的对比可知,方案一考虑造地标高后经济性有所降低,表 4 中远期交地为 1.5m,随着远期交地高程的抬高,方案一的经济性将从优势变为劣势。因此,设计过程中应考虑使用者的需求,如交地时序、高程、荷载标准等。

#### 2. 与材料价格的变化

玻纤价格变化幅度较大,报价多在 14~28 元/m<sup>2</sup>不等,在其他材料价格不变的条件下,玻纤土工布价格对方案的经济性影响较大,因此,方案设计时,需要关注材料供应商的供货运输能力和价格等因素,及时锁定价格区间。

#### 3. 随淤泥深度的变化

方案一、二随着所处区域的软土厚度不同,其断面差异较大。因此,在分析淤泥厚度对两种方案的经济性影响时,要与远期造地统筹考虑,因此,两种方案的经济性比选主要是方案一比方案二增加的玻纤土工布与方案二比方案一增加的充填袋的造价对比。(注:表中单价采用施工单位中标价。)

表 5 各代表钻孔方案一与方案二每延米造价对比表

钻孔号	材料	工程量差		单价 (元)	每延米造价差(元) (方案二-方案一)	合计 (元)	淤泥厚度 (m)
		(m <sup>3</sup> 或 m <sup>2</sup> )	(方案二-方案一)				
BJ03	充填袋	0.00		33.4	0.00	-433.97	0.60
	玻纤	-47.9		9.06	-433.97		
WC DL06	充填袋	8.07		33.4	269.54	-178.03	1.00
	玻纤	-49.40		9.06	-447.56		
WC DL12	充填袋	9.00		33.4	300.60	-93.51	1.50
	玻纤	-43.50		9.06	-394.11		

(上接第 116 页) K1+935 滑面在各工况下均处于稳定状态。此外,桩板墙处治方案既不影响既有治超站场地且滑坡体安全风险较低,可确保项目运营安全。

#### 参考文献

- [1] 张杰豪,胡新丽,徐楚等.基于物理模型试验的多层滑带堆积层滑坡抗滑桩受力特征[J].地质科技通报,2021,40(4):171-178.
- [2] 曾文辉.抗滑桩在滑坡治理中的应用分析[J].工程技术研究,2019,4(8):62-63.
- [3] 蒋楚生,邹川,黄献璋等.锚索与桩共同加固边(滑)坡的设计方法探讨[J].铁道工程学报,2017,12:6-8.

续表 5

钻孔号	材料	工程量差		单价 (元)	每延米造价差(元) (方案二-方案一)	合计 (元)	淤泥厚度 (m)
		(m <sup>3</sup> 或 m <sup>2</sup> )	(方案二-方案一)				
WC DL11	充填袋	15.00		33.4	501.00	22.63	1.96
	玻纤	-52.80		9.06	-478.37		
JZ199	充填袋	20.80		33.4	694.72	109.44	3.53
	玻纤	-64.60		9.06	-585.28		
WC DL35	充填袋	21.00		33.4	701.40	253.84	4.00
	玻纤	-49.40		9.06	-447.56		
DJ1-23	充填袋	60.00		33.4	2,004.00	1,014.65	6.00
	玻纤	-109.20		9.06	-989.35		

随着淤泥厚度变大,围堰采用玻纤方案占优,需要注意的是,垫层平整度要有保证,这样玻纤土工布可以同步变形,从而同步工作,起到加筋效果。

#### 四、结语

1.围堰结构方案比选不仅要比选其本身技术经济性,还应结合造地方案统筹考虑。

2.可根据造地条件、材料价格、软土厚度、荷载限制条件等对玻纤的布置进行优化设计。

3.玻纤土工布的应用不仅要考虑从结构经济方面考虑,还应考虑使用者的需求(如交地时序、高程、荷载标准等)、材料供应商的供货运输能力和价格等因素,文中为玻纤土工布在造地工程围堰结构中的应用提供参考。

#### 参考文献

- [1] 范开翼,杜伟.玻纤复合土工布充填袋施工技术[J].中国水运(下半月),2015,15(6):308-310.
- [2] 牛言增,吴春艳.玻璃纤维经编复合土工布在斜坡式防波堤中的应用[J].中国水运(下半月),2017,17(2):128-129.
- [3] 蔡辉,李增勇,沈雪松等.玻璃纤维经编复合土工布加筋层在连云港淤泥地基筑堤的应用[J].中国港湾建设,2016,36(9):17-21.

[4] 年廷凯,徐海洋,刘红帅.抗滑桩加固边坡三维数值分析中的几个问题[J].岩土力学,2012,33(8):2521-2526+2535.

[5] 陈源海.孔隙水压力对抗滑桩加固边坡稳定性影响分析[J].东北水利水电,2021,39(9):22-25+71.

[6] 白凯文,解惠.基于滑坡位移特征的抗滑桩桩位优化研究[J].工程技术研究,2021,6(20):217-219.

[7] 魏少伟,隋颜阳,杨建民.圆形与矩形截面抗滑桩抗滑性能的模型试验研究[J].岩土力学,2019,(3):951-961.

[8] 公路路基设计规范:JTG D30—2015[S].北京:人民交通出版社,2015.