

# 泥岩砂岩互层高边坡稳定性分析与治理方案研究

张志坚<sup>1</sup> 李亮<sup>1</sup> 郭海超<sup>2</sup>

1. 长江设计集团有限公司; 2. 浙江数智交院科技股份有限公司

**摘要:** 泥岩具有强度低, 易风化, 遇水易崩解, 强度随含水量增加而降低等特点, 泥质砂岩具有强度和稳定性差, 易软化, 吸水率大等特点。由于泥岩砂岩互层高边坡兼具泥岩、砂岩的特点, 已发生垮塌、裂缝等问题, 边坡治理难度和危险程度较大。本文以重庆市万州区某大型泥岩砂岩互层高边坡为研究对象, 结合地质勘察成果, 采用“先定性判别, 后定量计算稳定性”的方式, 全面系统的分析边坡稳定性。根据稳定性分析计算结论和类似工程经验, 提出了“放坡+锚杆框架+锚杆挡墙”的治理方案。目前, 该高边坡已经竣工。根据施工期和竣工后的监测结论, 该高边坡稳定性较好。

**关键词:** 泥岩砂岩互层; 高边坡; 稳定性分析; 边坡治理

【DOI】 10. 12254/j. issn. 2096-6539. 2021. 21. 042

## 引言

我国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段, 为推动经济高质量发展, 加快产业转型升级, 各地正在规划建设各种类型的产业园。随着城市建设用地日益紧张, 产业园选址正在逐步往城郊的丘陵或山地转移。在丘陵或山地进行基础设施建设, 经常会形成高边坡, 而高边坡较易发生垮塌、滑坡或崩塌等失稳现象, 形成较大的安全隐患。

本文以重庆市万州区某泥岩与砂岩互层高边坡为例, 采用定性评价、赤平投影法、平面滑动和圆弧滑动法等稳定性评价方法, 分析、计算确定边坡的稳定性安全系数, 并提出了相应的边坡设计和支护方案, 可供类工程借鉴和参考。

## 一、工程介绍

### (一) 工程概况

某地块边坡治理工程位于重庆市万州区。该边坡位于半山腰上, 边坡开挖后将形成长288m, 高13m~60.4m的岩、土质混合边坡, 总面积10551.37m<sup>2</sup>。

### (二) 地层岩性

工程区地貌属构造剥蚀丘陵地貌, 主要为斜坡及陡坡分布, 斜坡地形坡角23~35°, 陡坡地形坡角

50~66°。岩层产状为倾向330~346°, 倾角6~9°, 优势产状340°∠9°。层间裂隙较发育, 表面平直, 无胶结, 岩层层间结合很差, 属软弱结构面。

场地岩土层主要由第四系全新统素填土(Q<sub>4</sub><sup>ml</sup>)、残坡积粉质黏土层(Q<sub>4</sub><sup>el+dl</sup>)及下伏侏罗系中统沙溪庙组(J<sub>2s</sub>)泥岩及砂岩组成。

### (1) 素填土(Q<sub>4</sub><sup>ml</sup>):

由砂、泥岩碎石及黏性土组成。硬物质粒径一般为10~570mm, 含量30~45%, 呈次棱角状, 强风化~中等风化状, 均匀性差, 结构松散, 稍湿, 机械抛填形成, 填龄约1~2年。

### (2) 粉质黏土(Q<sub>4</sub><sup>el+dl</sup>)

成分较均匀, 主要由粉粒及粘粒组成。无摇震反应, 稍有光泽, 干强度中等, 韧性中等, 呈可塑状。

### (3) 泥岩(J<sub>2s-Ms</sub>)

紫红色, 由黏土矿物组成。泥质结构, 局部含砂质较重, 中厚层状构造。强风化层岩体较破碎, 岩芯呈碎块状, 岩石质软, 强度较低。中等风化层岩体较完整, 岩芯一般呈柱状, 局部呈碎块状, 质较硬。与砂岩呈互层状产出。

### (4) 砂岩(J<sub>2s-Ss</sub>)

浅灰色, 矿物成分以石英及长石为主, 含少量云母及暗色矿物。中细粒结构, 中厚层状构造, 钙泥质胶结。强风化岩芯呈碎块状, 质软; 中等风化岩石较完整, 岩芯呈柱状, 质较硬。与泥岩呈互层状产出或呈透镜体状产出。

## 二、边坡安全等级

边坡下方为企业厂区, 厂区内建筑物和生产设备较多且生产高峰期厂区内人员较多, 边坡损坏后可能造成人员伤亡、经济损失较大且可能产生不良的社会影响。

根据《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330), 考虑该边坡损坏后造成的破坏后果的严重性、边坡类型和边坡高度等因素, 确定该边坡工程安全等级为一级, 稳定安全系数取1.35。

## 三、边坡稳定性分析计算

### (一) 边坡破坏形式判别

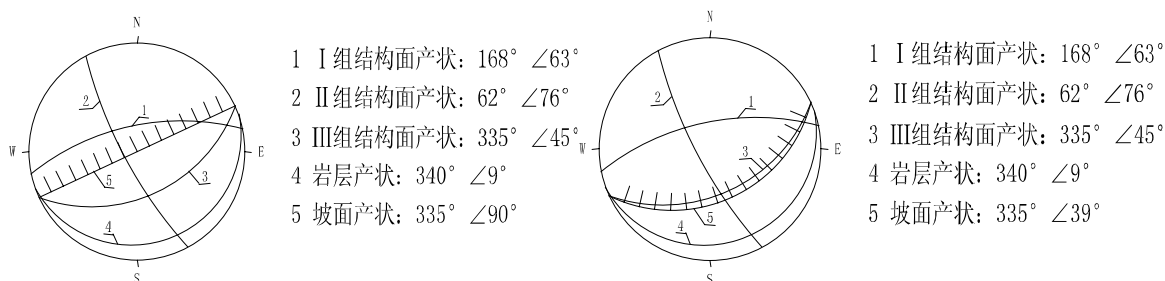


图1 边坡结构面极射赤平投影图

边坡稳定性分析遵循“以定性分析为基础、定量计算为手段”的原则，先根据边坡工程地质条件，定性判断边坡可能的破坏形式和边坡稳定性状态。定量计算方法根据边坡类型和可能的破坏形式进行确定。

根据赤平投影图，边坡（岩质部分）为顺向坡，与I组裂隙反向，与II组裂隙呈大角度相交，与III组裂隙呈同向。因此，边坡可能沿层面滑动破坏，需进行平面滑动稳定性计算。III组裂隙非场地主要发育的裂隙，仅在局部可见，因此综合判断边坡稳定性受岩体强度控制，因本文边坡以泥岩和砂岩为主，岩体较破碎、岩石强度低，不受外倾结构面控制，综合判断边坡破坏形式

为滑移破坏，采用圆弧形滑动稳定性计算。

(二) 边坡稳定性计算

结合该项目边坡情况，选取边坡中部两处典型剖面进行边坡稳定性计算，结合上文边坡破坏形式判别分析，主要进行平面滑动和圆弧滑动稳定性计算。

(1) 计算剖面

计算模型采用边坡中部2处典型剖面（剖面19、20），剖面岩土层根据地质钻孔揭露和现场调查确定，主要包括粉质黏土、强风化泥岩、中风化泥岩和微风化砂岩等，如图2所示。

(2) 计算参数



图2 剖面19、20岩土分层示意图

根据现场调查、室内试验和地质勘察成果，结合工程经验确定各岩土层及层面间的物理力学参数，如表1和表2。

表1 边坡岩土层物理力学参数

岩土层	重度 (kN/m <sup>3</sup> )	黏聚力 c (kPa)	内摩擦角 (°)
粉质黏土	18.47	27.8	12.51
强风化泥岩	20	/	35*
中风化泥岩	24.9	440*	30.2*
中风化砂岩	23.9	1870*	33.9*

注：加\*者为经验值。

表2 岩层层面参数

层面	黏聚力c (kPa)	内摩擦角 (°)
泥岩与砂岩界面	20	12
粉质黏土与岩土界面	13*	8.5*
素填土与岩土界面	2*	16*

注：加\*者为经验值。

(3) 计算方法

①平面滑动稳定性计算

根据《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330)，平面滑动的边坡性系数按式(3-1~3-5)计算。

$$F_s = \frac{R}{T} \quad (式3-1)$$

$$R = [(G + G_b)\cos\theta - Q\sin\theta - V\sin\theta - U]\tan\varphi + cL \quad (式3-2)$$

$$T = (G + G_b)\sin\theta + Q\cos\theta + V\cos\theta \quad (式3-3)$$

$$V = \frac{1}{2}\gamma_w h_w^2 \quad (式3-4)$$

$$U = \frac{1}{2}\gamma_w h_w L \quad (式3-5)$$

式中：F<sub>s</sub>—边坡稳定性系数；

T—滑体单位宽度重力及其他外力引起的下滑力(kN/m)；

R—滑体单位宽度重力及其他外力引起的抗滑力(kN/m)；

c—滑面的粘聚力(kPa)；

φ—滑面的内摩擦角(°)；

L—滑面长度(m)；

G—滑体单位宽度自重(kN/m)；

G<sub>b</sub>—滑体单位宽度竖向附加荷载(kN/m)；

θ—滑面倾角(°)；

U—滑面单位宽度总水压力(kN/m)；

V—后缘陡倾裂隙面上的单位宽度总水压力(kN/m)；

Q—滑体单位宽度水平荷载(kN/m)；

h<sub>w</sub>—后缘陡倾裂隙充水高度(m)。

②圆弧滑动稳定性计算

根据《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330)和《公路路基设计规范》(JTG D30),圆弧滑动稳定性计算采用简化Bishop法,稳定系数按式(3-6~3-8)计算。

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{m\theta_i} [c_i l_i \cos\theta_i + (G_i + G_{bi} - U_i \cos\theta_i) \tan\phi_i]}{\sum_{i=1}^n [(G_i + G_{bi}) \sin\theta_i + Q_i \cos\theta_i]} \quad (式3-6)$$

$$m\theta_i = \cos\theta_i + \frac{\tan\phi_i \sin\theta_i}{F_s} \quad (式3-7)$$

$$U_i = \frac{1}{2} \gamma_w (h_{wi} + h_{w,i-1}) l_i \quad (式3-8)$$

式中:  $c_i$ —第*i*计算条块滑面黏聚力(kPa);  
 $\phi_i$ —第*i*计算条块滑面内摩擦角(°);  
 $l_i$ —第*i*计算条块滑面长度(m);  
 $\theta_i$ —第*i*计算条块滑面倾角;  
 $U_i$ —第*i*计算条块滑面单位宽度总水压力(kN/m);  
 $G_i$ —第*i*计算条块单位宽度自重(kN/m);  
 $G_{bi}$ —第*i*计算条块单位宽度竖向附加荷载(kN/m);  
 $Q_i$ —第*i*计算条块单位宽度水平荷载(kN/m);  
 $h_{wi}, h_{w,i-1}$ —第*i*及*i-1*计算条块滑面前端水头宽度(m);  
 $\gamma_w$ —水重度(kN/m<sup>3</sup>);  
 $n$ —条块数量。

(4) 计算结果

根据上文计算参数和计算方法,边坡稳定性系数计算结果见表3和图3。由此可见,平面滑动和圆弧滑动边坡稳定性系数 $F_s$ 均大于1.35,满足规范要求。由图3可见,边坡顶部覆盖层的圆弧滑动边坡稳定性系数相对偏小,同时边坡顶部覆盖层受降雨等不利因素影响较大,为保证边坡顶部的稳定性,应加强顶部边坡的防护。

表3 边坡稳定性系数计算结果汇总表

剖面	边坡稳定性系数 $F_s$	
	平面滑动	圆弧滑动
19	1.38	1.70
20	1.40	1.40

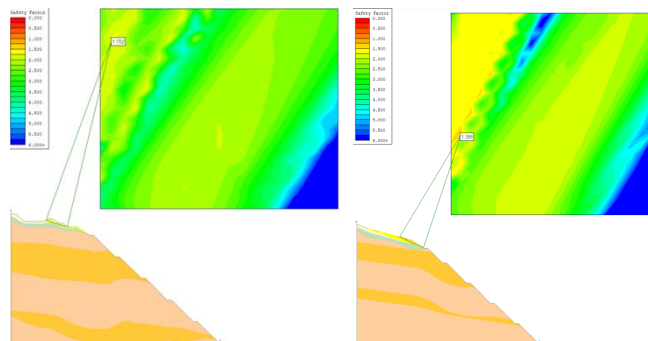


图3 圆弧滑动稳定性计算结果

四、边坡治理方案

高边坡设计方案通常采用坡率法、锚固法、结构支挡法或多种不同方法的组合。本文所述高边坡场地有一定的放坡条件,但同时存在征地范围受限制、放坡开挖后需保证坡顶的高压电塔安全等情况,经综合比选,采用坡率法和结构支挡法相结合的治理。由于锚杆挡墙具有结构轻型化、圻工工程量少、基坑开挖工程量小、利于机械化施工、便于装配化施工等特点,经综合分析,确定采用锚杆挡墙的支挡方案。

结合稳定性分析计算结论,确定该边坡的治理方案如下:

(1) 采用适宜的放坡坡率。中风化泥岩和砂岩采用1:1.0,强风化泥岩采用1:1.5,土质边坡坡率采用1:1.5。每级边坡高度为10m,边坡分级处设置2.0m宽的边坡平台,平台上设置截水沟,以拦截坡面水。

(2) 边坡下部采用锚杆挡墙支护。最下一级边坡采用锚杆挡墙进行支护,锚杆挡墙高6.8m,嵌入岩层0.8m。肋柱间隔2m设置,高60cm,宽40cm,挡土板厚30cm。墙身材料选用C30钢筋混凝土,锚杆由3根直径25mm的HRB400钢筋组成,锚杆竖向间隔2m,嵌入岩层12m。

(3) 加强坡面浅层防护。由于该边坡主要为岩土混合边坡,结合本工程特点并参考类似工程经验,确定坡面防护方案为:边坡顶部土质边坡采用拱形骨架植草护坡,泥岩和砂岩边坡采用锚杆框架内嵌生态袋防护。

五、结语

(1) 本文所述高边坡安全等级高,且为泥岩与砂岩互层边坡,边坡地质条件较差,工程治理较大。同时,放坡范围受到限制,需要综合各方因素,研究选择相应的治理方案。

(2) 针对泥岩与砂岩互层高边坡,本文通过定性判别破坏模式,定量分析稳定性,结合平面滑动和圆弧滑动稳定性计算结果,提出了边坡防护重点。

(3) 针对泥岩与砂岩互层高边坡,提出了“放坡+支挡支护、锚杆框架内嵌生态袋的坡面防护”方案。工程竣工后该边坡稳定性较好,证明了该治理方案的有效性。

参考文献

[1] 黄凯湘,温忠义,彭卫平.土岩组合高边坡稳定性分析与治理[J].城市勘测.2021(3):200-204.  
 [2] 蒋鹏飞,李志勇等.公路边坡防护技术[M].北京:人民交通出版社,2011.

作者简介:

张志坚(1973—),男,高级工程师,主要从事道路桥梁、水工建筑物等设计与项目管理。