

锚索桩板式挡土墙治理高边坡分析与设计

张 飙¹, 俞 敏^{1,2}

(1. 桂林理工大学土木与建筑工程学院, 广西 桂林 541004; 2. 广西桂林水文工程地质勘察院, 广西 桂林 541002)

摘要:结合柳州市柳东新区路网截洪沟及边坡支挡工程实例,分析其中一段高差 25 m 的高边坡,采用极限平衡理论的折线型滑动面的传递系数法对滑坡进行稳定性评价及剩余下滑力计算,探讨三层锚索桩板式挡土墙的设计思路;分别运用滑坡推力和库伦土压力法计算抗滑桩桩身内力,通过分析桩身内力情况,选择桩板式挡土墙的结构方案;同时介绍了挡土墙以上边坡坡面防护方案,高边坡施工期间及完工之后的监测方案和建议。

关键词:高边坡;抗滑桩;锚索;桩板式挡土墙;边坡稳定性

中图分类号:U418.5⁺² **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2020)06-0067-06

Analysis and design of the anchor cable pile-sheet retaining wall for high slope treatment

ZHANG Biao¹, YU Min^{1,2}

(1. College of Civil and Architecture Engineering, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi 541004, China;

2. Guangxi Guilin Geotechnical Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Guilin Guangxi 541002, China)

Abstract: Taking Liudong New District of Liuzhou City as an example, the flood interception ditch and slope retaining project is introduced with analysis of a section of high slope with elevation difference of 25m. Stability evaluation and residual sliding force calculation is conducted for the landslide using the broken-line sliding plane transfer coefficient method of limit equilibrium theory. Discussion is made on the design approach for the three-layered anchor cable pile-sheet retaining wall. The internal force of the anti-slide pile body is calculated by both the landslide thrust method and the Coulomb earth pressure method with the structural plan of the pile-sheet retaining wall selected through analysis of the internal force of the pile body. The slope protection plan above the retaining wall, the monitoring plan and suggestions during and after high slope construction are introduced. It provides reference for the treatment of high slope landslides in the future.

Key words: high slope; anti-sliding pile; anchor cable; pile-sheet retaining; slope stability

1 工程概况

本工程为柳州市在建城市道路的分项工程^[1],高边坡段总长约 530 m,该工程位于两处永久性建筑物之间的狭窄地带,两侧标高、位置均无法调整,现状为土质边坡,有可能演变为滑坡地质灾害。根据规范^[2]规定,该工程级别为 I 级,设计年限为 20 年。

2 自然条件

2.1 地质概况

拟建项目区地势起伏稍大,南高北低,高差 10~25 m。地貌属柳东岩溶准平原。据现场调查及勘察成果,项目区主要地层有:①素填土;②粘性土;③红粘土;④灰质白云岩^[3]。各土层性能指标如表 1 所示。

收稿日期:2019-08-15; **修回日期:**2020-05-18 **DOI:**10.12143/j.tkgc.2020.06.012

作者简介:张飙,男,汉族,1992 年生,硕士,主要从事岩土工程、地质灾害等领域的设计、技术创新等工作,广西桂林市建干路 12 号,939890161@qq.com;俞敏,男,汉族,1964 年生,教授级高级工程师、注册土木工程师(岩土),从事岩土工程、地质灾害等方面工作,广西桂林市铁西一里 8 号。

引用格式:张飙,俞敏.锚索桩板式挡土墙治理高边坡分析与设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(6):67-72,85.

ZHANG Biao, YU Min. Analysis and design of the anchor cable pile-sheet retaining wall for high slope treatment[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(6):67-72,85.

表1 各土层的主要物理力学指标
Table 1 Main physical and mechanical indicators of soil layers

岩土名称	状态	重度 γ / ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	粘聚力 c / kPa	内摩擦角 φ / ($^{\circ}$)	基底摩 擦系数	地基承载力 / kPa	浆体与岩体 粘结强度 / kPa	地基系数 K / ($\text{MN} \cdot \text{m}^{-4}$)
①素填土	天然状态	17.5	10.0	10.0				
	饱和状态	17.7	6.0	8.0				
②粘性土	天然状态	17.9	21.0	11.0			40	
	饱和状态	18.1	19.0	9.5				
③红粘土	天然状态	18.0	30.0	12.0	0.40	180	60	60
	饱和状态	18.2	27.0	10.0	0.35	130		
滑带土(粘土)	天然状态	18.0	14.0	12.0	0.35			
	饱和状态	18.2	12.0	10.0	0.30			
灰质白云岩	强风化	21.0	50.0	20.0	0.45	400	80	80
	中风化	23.0	120	24.0	0.50	1000	900	800

2.2 气象、水文特征

项目区属亚热带北缘气候,炎热多雨,夏长冬短,年间气温 $-2\sim 39^{\circ}\text{C}$,全年气温高,湿度大,平均降雨量 1453.8 mm ,雨季集中在4—8月,大一暴雨多在6—8月发生^[3]。

项目区附近2 km有洛清江,地下水丰富,而场地高程较高,不受洛清江江水淹没影响。项目区南面有常年性冲沟水流向边坡。

2.3 地震概况

项目区地震设防烈度为6度,II类场地,地震动反应谱特征周期为0.35 s,地震动峰值加速度为 $0.05g$ ^[3]。

3 治理思路及稳定性分析

3.1 工程现状与治理思路

本工程滑坡段平面上呈弧形长条带状,纵向长约 $25\sim 65\text{ m}$,横向宽约 530 m ,面积约 $2.14 \times 10^4\text{ m}^2$,滑体厚度 $2.5\sim 8.5\text{ m}$,总体积约 $7.49 \times 10^4\text{ m}^3$,属小型牵引式土质滑坡。滑坡高 $10.35\sim 26.12\text{ m}$,滑坡坡面坡度 $20^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 。由于长时间降雨、冲刷,滑坡体基本处于近饱和状态,滑坡坡面和坡脚不断有地下水渗出。

治理滑坡的常用工程措施种类有:排水,支挡,减载,反压,植被绿化,注浆法等^[4-5]。本工程边坡高度大(最大坡高 28 m),开挖坡面土体裸露,风化作用强烈,土体结构遭破坏,土体强度低。该地区降雨频繁且强度大,上方坡面有水汇流冲刷、下渗软化土体,使坡体内形成动、静水压力等。

本工程治理步骤为:(1)减载削坡,清除表面局部凸起及设计坡面以上土体^[6];(2)支挡,在坡脚选

用锚索桩板式挡土墙进行滑坡体支挡^[7];(3)坡面防护,在坡面锚杆挂网喷砼+锚索格构梁+客土喷覆、植草进行防护固土^[8-10];(4)排水截水措施,在挡墙、护坡结构设排水孔,减少滑坡体的含水量,在坡顶修截流排水沟阻断坡顶水流对坡段的冲刷。

3.2 稳定性分析及推力计算

本工程为土质边坡,取单位米宽土条,结合滑坡剖面图,采用极限平衡理论的折线型滑动面的传递系数法,对滑坡进行稳定性评价及剩余下滑力计算^[11-12]。选取最不利工况:暴雨或连续降雨情况,考虑坡体处于饱水状态,荷载为坡体饱和自重。滑坡体分块原则:本工程滑动面为折线,每两段折线倾角相差不大时可合并为一条折线,同时参照地面建筑物、拟建建筑物的位置进行划分;本工程滑坡体由上到下分为4块(见图1)。

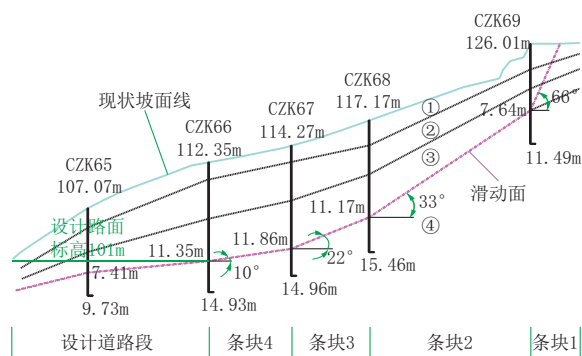


图1 滑坡体分块图

Fig.1 Landslide blocks

用极限平衡理论的折线型滑动面的传递系数法计算公式如下:

$$P_i = P_{i-1} \psi_{i-1} + T_i - R_i / F_s$$

$$\psi_{i-1} = \cos(\theta_{i-1} - \theta_i) - \cos(\theta_{i-1} + \theta_i) \tan \varphi_i / F_s$$

$$T_i = (G_i + G_{ib}) \sin \theta_i + Q_i \cos \theta_i$$

$$R_i = c_i l_i + [(G_i + G_{ib}) \cos \theta_i - Q_i \sin \theta_i - U_i] \tan \phi_i$$

式中: P_i ——第 i 计算条块与第 $i+1$ 计算条块单位宽度剩余下滑力; T_i ——第 i 计算条块单位宽度重

力与其他外力引起的下滑力; R_i ——第 i 计算条块单位宽度重力与其他外力引起的抗滑力; ϕ_{i-1} ——第 $i-1$ 计算条块与第 i 计算条块的传递系数。计算结果见表 2、表 3。

表 2 各条块现状参数与荷载计算

Table 2 Current parameters and load calculation of each block

条块编号	红 粘 土		自重/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$)	总荷载/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$)	滑面长度/ m	倾角/ ($^\circ$)
	重度 $\gamma_1/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	面积 S_1/m^2				
1	18.20	5.53	100.6	100.6	6.10	66
2	18.20	103.47	1883.2	1883.2	20.36	33
3	18.20	54.94	999.9	999.9	7.98	21
4	18.20	55.03	1001.5	1001.5	9.64	10

表 3 滑坡体剖面稳定性与推力计算

Table 3 Stability and thrust calculation for the landslide section

条块编号	滑 带 土			传 递 系 数 法				
	粘聚力/ kPa	内摩擦角/ ($^\circ$)	下滑力/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$)	抗滑力/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$)	传递系数	稳定系数	安全系数	剩余下滑力/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$)
1	12	10	91.9	107.1	0.71	1.164	1.15	0.00
2	12	10	1025.6	690.4	0.93	0.703	1.15	540.39
3	12	10	358.3	343.2	0.94	0.769	1.15	589.45
4	12	10	173.9	382.0	0.98	0.939	1.15	379.40

通过计算确定其稳定性系数为 $F_s = 0.94 < 1.00$, 属于不稳定状态^[2]; 剩余下滑力 379.4 kN/m, 作为进行滑坡防治工程的设计推力。

4 分项工程设计

4.1 锚拉桩板式挡土墙设计

以最不利工况推力计算结果为依据, 选取设抗滑桩位置处的滑坡推力和库伦土压力, 运用 k 值法分别计算桩身内力, 二者计算结果较大值作为设计荷载, 进行锚索桩板式挡土墙的各结构设计。设置挡墙处清理滑坡前缘反压土体, 故不考虑桩前反力。通过对抗滑桩稳定性分析, 设置抗滑桩地下 10 m, 地上 10 m^[13]; 桩径 1.5 m。根据经验桩身上设置 3 层锚索^[14], 距桩顶距离分别为 0.6、3.6、6.6 m。

4.1.1 抗滑桩身结构设计

锚索对挡墙结构的作用力计算公式如下:

$$F_h = k_R (v_R - v_{R0}) + \frac{0.8 N_k b_a}{s} \cos \alpha$$

$$k_R = \frac{(Q_2 - Q_1) b_a}{(s_2 - s_1) s}$$

式中: v_R ——挡墙结构在支点处的水平位移值; v_{R0} ——设置锚索时, 支点的初始水平位移值; N_k ——锚索轴向拉力标准值; α ——锚索倾角; Q_2 、

Q_1 ——锚索加载实验中 $Q-s$ 曲线上对应锚索锁定值与轴向拉力的荷载值; s_2 、 s_1 —— $Q-s$ 曲线上对应于荷载为 Q_2 、 Q_1 的锚头位移值; s ——锚杆水平间距。

第 1 种情况: 滑坡推力作用下桩身内力见表 4^[3]。

表 4 滑坡推力作用下桩身内力

Table 4 Inner force of the pile under residual thrust

挡墙后最大弯矩 = 3591.251($\text{kN} \cdot \text{m}$)	距离桩顶 10.414(m)
挡墙前最大弯矩 = 156.654($\text{kN} \cdot \text{m}$)	距离桩顶 17.034(m)
最大剪力 = 1135.545(kN)	距离桩顶 12.069(m)
最大位移 = 23(mm)	
第 1 道锚索水平拉力 = 239.819(kN)	距离桩顶 0.600(m)
第 2 道锚索水平拉力 = 161.296(kN)	距离桩顶 3.600(m)
第 3 道锚索水平拉力 = 85.262(kN)	距离桩顶 6.600(m)

第 2 种情况: 库伦土压力作用下桩身内力见表 5^[3]。

表 5 库伦土压力作用下桩身内力

Table 5 Inner force of the pile under Coulomb earth pressure action

挡墙后最大弯矩 = 6105.541($\text{kN} \cdot \text{m}$)	距离桩顶 10.828(m)
挡墙前最大弯矩 = 835.626($\text{kN} \cdot \text{m}$)	距离桩顶 4.457(m)
最大剪力 = 2486.922(kN)	距离桩顶 10.000(m)
最大位移 = 32(mm)	
第 1 道锚索水平拉力 = 330.013(kN)	距离桩顶 0.600(m)
第 2 道锚索水平拉力 = 240.685(kN)	距离桩顶 3.600(m)
第 3 道锚索水平拉力 = 142.710(kN)	距离桩顶 6.600(m)

选第 2 种情况下的桩身内力按照《混凝土结构设计规范》(GB 50010-2010)^[15] 进行桩身配筋计

算,计算及配筋结果见表6^[3]。

表6 抗滑桩桩身结构配筋及布置

Table 6 Rebar structure and layout of the anti-slide pile

距桩顶 距离/m	全部纵筋/ mm ²	实配纵筋/ mm	箍筋/ mm ²	实配箍筋/ mm
0~8.5	9719	14Ø32	151	Ø14@120+Ø22@1500
8.5~13.5	29333	38Ø32	151	Ø14@120+Ø22@1500
13.5~22	9719	14Ø32	151	Ø14@120+Ø22@1500

4.1.2 锚索设计

每根桩上设3根锚索,垂直间距为3.0 m。选用M30水泥砂浆灌孔。

由挡墙锚索节点水平力 N_{tk} 计算轴向拉力 N_{ak} :

$$N_{ak} = N_{tk} / \cos\alpha$$

锚索钢筋横截面积 A_s :

$$A_s = 2.2N_{ak} / f_{py}$$

锚索锚固段长度:

$$L_a = \max\left(\frac{2.6N_{ak}}{\pi D f_{rbk}}, \frac{2.6N_{ak}}{n \pi d f_b}, 5\text{ m}\right)$$

表7 锚索结构计算及布置

Table 7 Calculation and layout of the anchor cable structures

锚索号	锚索计算内力/ kN	计算自由长度/ m	计算锚固长度/ m	实际自由长度/ m	实际锚固长度/ m	钢绞线配筋/ mm	实配面积/ mm ²
C	428.85	9.5	23.0	10.5	24.5	6Ø15.2	840.0
B	336.30	7.5	17.5	9.0	19.0	5Ø15.2	700.0
A	230.53	6.0	12.0	7.0	13.0	3Ø15.2	420.0

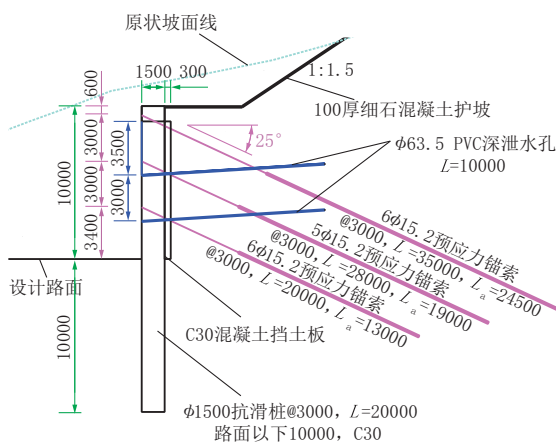


图2 锚索桩板式挡土墙剖面图

Fig.2 Anchor cable pile-sheet retaining wall profile

4.1.3 锁梁、桩间板、排水设施设计

参见图3,抗滑桩顶设置锁梁,截面尺寸为1.5 m×1.0 m,混凝土强度采用C30,锁梁纵筋10Ø25 mm,箍筋四肢箍Ø14 mm@180 mm。

抗滑桩后设置现浇钢筋混凝土挡土板,高10.0 m,厚0.3 m,混凝土强度为C30;按第2种情况计算

锚索自由段长度:

$$L_f = \max\left[\frac{(a_1 + a_2 - B \tan\alpha) \sin(45^\circ - \varphi_m/2)}{\sin(45^\circ + \varphi_m/2 + \alpha)} + \frac{B}{\cos\alpha} + 1.5, 5\text{ m}\right]$$

式中: f_{py} ——锚索抗拉强度设计值; f_{rbk} ——实验得到的岩土层与锚固体极限粘结强度标准值; f_b ——锚索与锚固砂浆间的粘结强度设计值,本工程取2.95; D ——锚固段钻孔直径; d ——锚固段锚索直径; a_1 ——锚索锚头至坡脚设计地面的距离; a_2 ——坡脚设计地面至桩身两侧主动、被动土压力强度等值点 O 的距离; B ——挡土构件水平尺寸,本工程为桩径+间挡土板厚; φ_m —— O 点以上各土层按厚度加权的等效内摩擦角。

根据以上公式,结合相关规范^[2]进行锚索计算(见表7)。根据以上计算结果,画出锚索桩板式挡土墙剖面图(见图2)。

设计地面处主动土应力 P_d ;选1 m高挡土板按单向板配筋计算,板上均布力为 P_d ,板净跨1.5 m,跨度3 m。参照《混凝土结构设计规范》(GB 50010-2010)^[15]单向板配筋计算,水平配筋Ø14 mm@250 mm,竖直配筋Ø8 mm@250 mm。

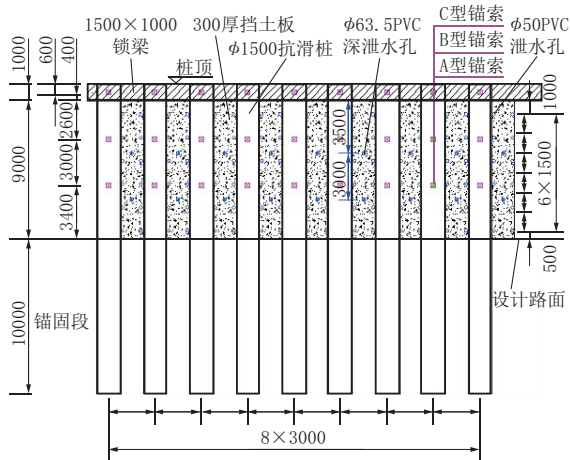


图3 锚索桩板式挡土墙立面图

Fig.3 Anchor cable pile-sheet retaining wall elevation

桩后设置现浇钢筋砼挡土板中部设 6 排 $\text{O}50$ mm 的泄水孔, 水平间距 1.2 m, 排距 1.5 m, 底排距桩前地面 0.5 m, 倾角 5° ; 同时, 于桩间板中心设 2 排 $\text{O}63.5$ mm PVC 深泄水孔, 单根长 10 m, 距锁梁底 3.5 m, 仰角 5° 。挡土板后设厚 300 mm 的碎石反滤层。

4.2 挡土墙以上坡面防护工程

参见图 4, 各分段坡面采用锚杆竖向、水平间距均 1.3 m, 锚筋选用 HRB400 级钢筋, 锚杆入射角 $\theta = 15^\circ$, 锚孔孔径 130 mm, 孔内灌注 M25 纯水泥浆。坡面挂 $\text{O}6.5$ mm@200 mm 钢筋网(边界外扩 1.0 m), 坡面喷射 C20 细石混凝土, 厚 100 mm。坡面按水平间距 2.6 m、垂直间距 1.3 m, 布设 $\text{O}50$ mm

PVC 泄水孔, 单根管长 0.5 m。

坡面在采用锚杆挂网喷砼后, 边坡分级设置锚索格构梁工程, A 型锚索, 设置于格构梁交叉处, 水平、垂直间距均为 2.6 m, 入射角 $\theta = 25^\circ$, 设计锚索孔孔径 150 mm, 锚索孔内灌注 M30 纯水泥浆。

格构梁截面选用 $400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$, 间距为 $2.6 \text{ m} \times 2.6 \text{ m}$, 压在喷砼面上, 为现浇钢筋混凝土梁, 混凝土强度等级为 C30, 纵向受力钢筋选用 $10\text{O}16$ mm, 箍筋选用 $\text{O}8$ mm@150 mm, 节点处四向设 $300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$ 的腋角, 腋角加强钢筋为 $\text{O}22$ mm, 节点箍筋加密区长度 0.8 m(四向), 加密区箍筋为 $\text{O}8$ mm@100 mm。格构梁间坡面使用客土喷覆、植草绿化。

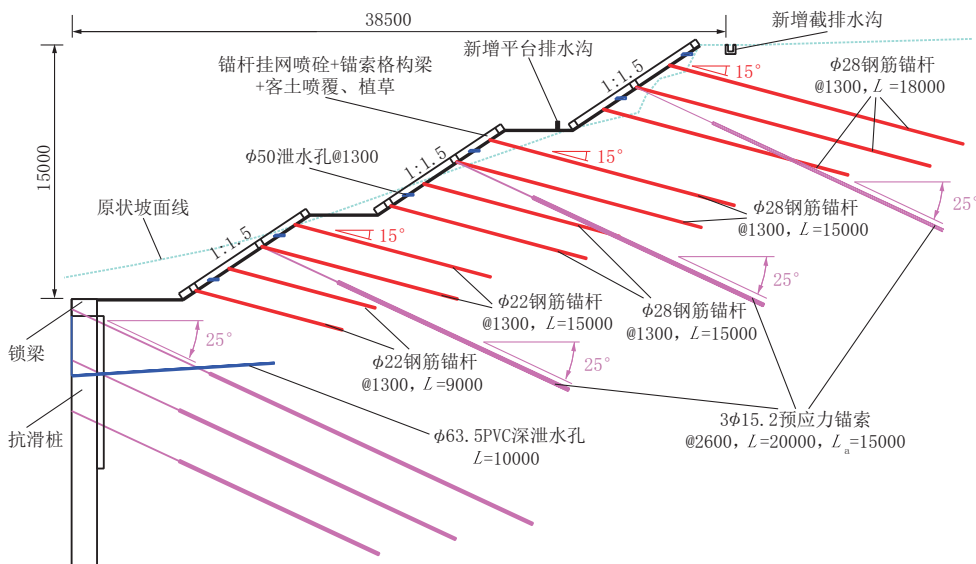


图 4 挡土墙以上坡面防护工程剖面图

Fig.4 Profile of the slope protection work above the retaining wall

5 工程监测

在边坡治理工程中, 应在坡体上设置简易监测措施, 实时监控治理工程和治理后的滑坡动态, 检验治理效果, 同时为今后滑坡的监测预警提供依据^[16-17]。

本工程主要以坡体表部地表变形观测为主。

在项目区内把简易观测点设置于滑坡后缘以上的相对稳定的坡体上、滑坡体中后部、滑坡体裂缝密集区以及抗滑桩桩顶、挡土墙顶和格构梁上。

简易地表位移监测应派专人进行, 定期巡查, 超前预报, 主要以肉眼观察为主, 必要时可设置简易观测桩、点。特别是在降雨过后应巡视坡体及治理

支护工程是否有明显变形或位移。若发现坡体出现宏观变形或支护工程有明显位移变形, 应迅速上报主管机构, 以便及时妥善处理, 确保滑坡区生命财产安全。

6 边坡支护工程治理效果

该段边坡支护工程与 2018 年 2 月开工, 2018 年 7 月顺利完成。施工前在坡顶设置位移监测点, 施工过程在对坡顶高速公路无损坏影响的基础上进行。施工期间加强边坡的变形监测, 各项数值均在设计范围内, 确保了施工的安全进行。施工结束后继续进行边坡的变形监测, 通过对支护结构的沉降、位移和锚索应力观测, 均在设计范围以内; 通过一年

的监测数据发现,支护结构累计最大水平位移 10.5 mm(<20 mm^[2]),累计最大竖向位移 9 mm,各项监测指标数值已趋于稳定,实际边坡也未发现不稳定的迹象,这表明本次支护工程设计是安全、有效、可靠的(见图 5)。



图 5 支护结构施工后效果

Fig.5 Completed support structure

7 结语

综上所述,在高边坡滑坡治理工程中,需根据地质勘查结果、项目规划、施工条件等因素进行工程分析和设计,可以通过削坡、加固、截水排水、客土喷覆、植草绿化、工程监测等措施最大限度减小不利因素,进一步保证边坡安全。本文为锚索桩板式挡土墙在高边坡滑坡治理工程中的应用提供了实践经验及参考依据。

参考文献(References):

- [1] 何木,李明玉.柳州市柳东新区核心区及周边片区路网—横十三路(纵八路~纵十八路)截洪沟及边坡支护工程施工图设计[R].2018.
HE Mu, LI Mingyu. Construction design of the flood cut-off ditches and slope retaining work for the road network—Latitude Road 13 (from Longitude Road 8 to 18) in the central and surrounding areas of Liudong New District of Liuzhou City [R]. 2008.
- [2] GB 50330—2013,建筑边坡工程技术规范[S].
GB 50330—2013, Technical code for building slope engineering[S].
- [3] 何木,张颀.基于 Bishop 条分法的边坡稳定分析及支护方案[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(5):55—71.
HE Mu, ZHANG Biao. Slope stability analysis and support scheme based on the Bishop strip method[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(5):55—71.
- [4] 张硕.房山区贾金路边坡稳定性评价与治理方法研究[J].探矿

- 工程(岩土钻掘工程),2018,45(10):97—103.
- ZHANG Shuo. Slope stability evaluation and treatment along Jiajin Road, Fangshan District [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(10):97—103.
- [5] 宋国龙.露天煤矿边坡稳定性实例分析及优化设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):30—35.
SONG Guolong. Example analysis and optimal design of slope stability in open pit coal mine [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(10):30—35.
- [6] 赵永永.锚索抗滑桩在大型滑坡体中的安全性评价[J].国防交通工程与技术,2017,15(6):30—33.
ZHAO Yongyong. The evaluation of the security of the anchored slide-resistant pile for large-scale slide body [J]. Traffic Engineering and Technology for National Defense, 2017,15(6):30—33.
- [7] 柳晓春,张景涛.柱板式锚索挡土墙墙背土压力的分布规律[J].城市道桥与防洪,2012(1):124—126.
LIU Xiaochun, ZHANG Jingtao. Distribution rule of soil pressure at back of column plate anchor retaining wall [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2012(1):124—126.
- [8] 徐小华.格构梁与锚索注浆复合结构在加固边坡工程中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(5):72—74,80.
XU Xiaohua. Application research on composite structure with lattice beam and anchor cable grouting in slope reinforcement [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2009,36(5):72—74,80.
- [9] 崔恒,李慎锋,张吉庆,等.新型生态边坡治理支护形式现场试验研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(1):77—82.
CUI Heng, LI Shenfeng, ZHANG Jiqing, et al. Field test on new type of ecological slope retaining [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(1):77—82.
- [10] 王德亮,聂庆科,黎培德,等.高边坡稳定性案例分析及支护结构优化设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(7):67—70.
WANG Deliang, NIE Qingke, LI Peide, et al. Case analysis on high slope stability and optimization design of supporting structure [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(7):67—70.
- [11] 韩琨,高安民,周维钰.青海红土山滑坡工程的治理方案选择[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(7):40—43.
HAN Kun, GAO Anmin, ZHOU Weiyu. Choice of treatment scheme on landslide in Hongtu Mountain of Qinghai [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2007,34(7):40—43.
- [12] 魏万鸿,宿星,叶伟林,等.预应力锚索地梁在矿山已变形边坡加固中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(7):71—75.
WEI Wanhong, SU Xing, YE Weilin, et al. Application of pre-stressed anchor cable ground sill in reinforcement engineering of deformed mine slope [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(7):71—75.
- [13] 马显春,罗刚,邓建辉,等.陡倾滑面堆积层滑坡抗滑桩锚固深度研究[J].岩土力学,2018,39(S2):157—168.
MA Xianchun, LUO Gang, DENG Jianhui, et al. Study of anchorage depth of anti-sliding piles for steep-sliding accumulation landslides [J]. Rock and Soil Mechanics, 2018,39(S2):157—168.