

基于 Bishop 条分法的边坡稳定分析及支护方案

何 木¹, 张 颢²

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

摘要:结合柳州市柳东新区物流港片区在建道路边坡支护工程实例,分析由于道路工程的路堑设计施工造成的高差约 35 m 高边坡,基于极限平衡理论的 Bishop 条分法理论分析,使用理正岩土设计软件对边坡进行滑动面选择,并进行稳定性分析及剩余下滑力计算,探讨锚索桩—墙复合垂直抗滑结构的设计思路;通过承载力极限条件对桩的截面尺寸和配筋进行复合;同时介绍垂直支护结构以上边坡坡面处理、防护、排水方案;为今后在道路工程造成的高边坡类支护、治理工程提供参考。

关键词:边坡稳定性;路堑边坡;Bishop 条分法;桩—墙复合抗滑结构

中图分类号:U418.5+2 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2020)05-0065-07

Slope stability analysis and support scheme based on the Bishop strip method

HE Mu¹, ZHANG Biao²

(1.Guangxi Guilin Geotechnical Institute of Hydrogeology and Engineering Geology,
Guilin Guangxi 541002, China;

2.College of Civil and Architecture Engineering, Guilin University of Technology,
Guilin Guangxi 541004, China)

Abstract: This paper discusses the design approach for the vertical anti-slide structure of the anchor cable and pile-wall combination through theoretical analysis of the Bishop strip method based on limit equilibrium theory, selection of the sliding surface of the slope by use of the Lizheng Rock Soil design software and stability analysis and calculation of the residual down-sliding force in the context of the slope support project for a road under construction in the logistics port area of Liudong New District of Liuzhou City, where the elevation difference of the slope caused by the design and construction of road cutting is about 35m high. Combination of the pile cross-section size and re-bars is conducted under the bearing capacity limit conditions; meanwhile, the slope surface treatment, protection and drainage scheme above the vertical support structure are also introduced. It may provide reference for the high slope support and treatment projects in road construction in the future

Key words: slope stability; cutting slope; Bishop strip method; pile-wall composite anti-slide structure

0 引言

随着国内基础设施建设的推进,特别是路网的建设,造成了很多高临空面的边坡出现,使周边道路、设施存在极大的安全隐患,破坏后可能造成很大的经济损失,甚至造成人员伤亡。边坡破坏的主要产因是失稳,所以边坡稳定性分析的研究一直是岩土、地质灾害等工程学科中的热点和难点。极限平衡法在边坡的稳定性评价中得到了大量的应用实践,而 Bishop 法是边坡极限平衡分析法中的经典算

法,相较于 Fellenius 法、Janbu 法、Sarma 法、Morgenstern & Price 法、Spencer 法,Bishop 法的计算精度更高、计算思路更加清晰,被认为是计算边坡问题的最优方法。本文以柳州实际边坡工程为例,讨论 Bishop 条分法的理论模型和在实际边坡工程稳定性分析的应用,并针对该边坡工程进行治理设计。

1 研究区概况

1.1 工程概况

收稿日期:2020-01-15; 修回日期:2020-04-16 DOI:10.12143/j.tkgc.2020.05.011

作者简介:何木,男,壮族,1983 年生,硕士,主要从事岩土工程、地质灾害治理等领域的勘察设计工作,广西桂林市铁西一里 8 号,156634641@qq.com;张颢,男,汉族,1992 年生,硕士,主要从事地质灾害领域的工作,广西桂林市建干路 12 号。

引用格式:何木,张颢.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):65-71.

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):65-71.

本工程为柳州市柳东新区在建城市道路工程^[1],主要为南北走向,全长 826.517 m。根据道路规划,桩号 K0+640~K0+790 道路右侧需挖方处理,形成垂直临空面高约 3~15 m,高差约 25~33 m 的高边坡^[2]。现状为土质边坡,在降雨、地震等因素作用下极有可能发生滑塌,引发地质灾害,影响公路使用及公路左侧厂区的安全。根据规范^[3]规定,该工程级别为 I 级,设计年限为 20 年。本文选择垂直临空面高约 15 m(桩号 K0+740)的断面为研究对象(见图 1、图 2)。



图 1 项目区位置图

Fig.1 Location of the project area

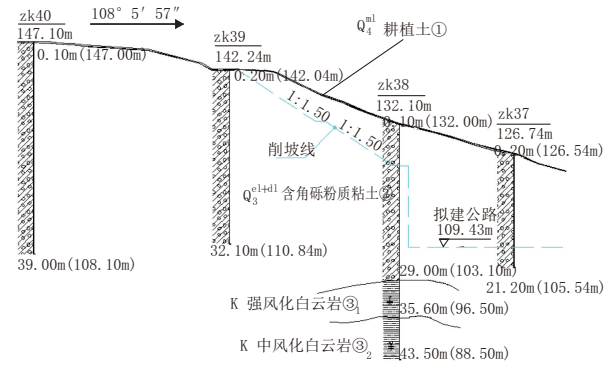


图 2 工程地质剖面图

Fig.2 Engineering geological profile

1.2 地质概况

项目区地貌单元为构造溶蚀、剥蚀低丘,场地整体地势起伏较大,由含角砾粉质粘土组成的低丘连绵起伏,岭谷相间,丘顶多呈浑圆状,地形高差大多小于 20 m,只有局部地形高差达 30 m,切割相对较浅。沿线山坡自然状态下稳定性较好,以缓坡为主,坡度一般在 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$,局部地段形成约 30° 的陡坡。由工程勘察成果得到,项目区主要地层有:①耕植土、②硬塑含角砾粉质粘土、③灰质白云岩(见表 1、图 2)。

表 1 各土层的主要物理、力学指标

Table 1 Main physical and mechanical index of soil layers

岩土名称	状态	重度/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	粘聚力/ 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耕植土	天然状态	17.0	5.0	5.0				
	饱和状态	17.7	6.0	8.0				
②硬塑含角砾粉质粘土	天然状态	19.6	35.0	21.0	200	65		
	饱和状态	20.1	31.0	18.5				
③灰质白云岩	强风化	21.0	50.0	20.0	0.45	400	80	80
	中风化	23.0	120.0	24.0	0.50	1000	900	800

1.3 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。

项目区地势起伏较大,未见地表水体,在西南面约 2.0 km 为柳江。据 1:20 万柳州幅区域水文地质普查资料,场地地下水主要为大气降水渗入及侧向迳流补给,蒸发排泄,迳流途径短,水量贫乏,地下水水位埋深较深。

1.4 地震概况

查阅规范^[4],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 $0.05g$ 。

2 稳定性分析方法选择及其理论

考虑圆弧滑动面的稳定性分析方法主要有瑞典圆弧法和 Bishop 条分法^[6-7],由于 Bishop 条分法考虑土间作用力的影响,计算较瑞典圆弧法更接近实际情况,故根据公路边坡的特性要求,本工程选择 Bishop 条分法进行边坡稳定性分析。Bishop 条分法理论如下。

如图 3 所示, E_i 及 X_i 分别表示土条间的法向和切向条间作用力, W_i 为土条自重, Q_i 为土条的

水平作用力, N_i 、 T_i 分别为土条底的总法向力和切向力, e_i 为土条水平力 Q_i 的作用点到圆心的垂直距离, u_i 为土条底空隙水压力。

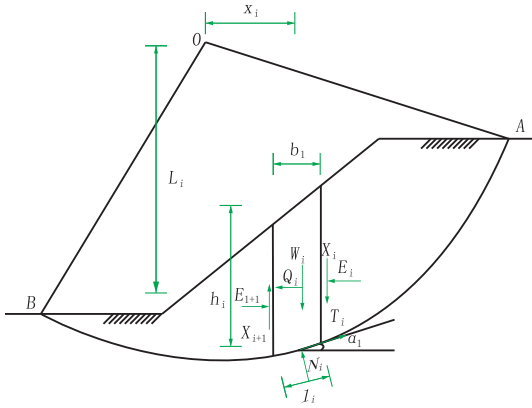


图 3 Bishop 条分法理论计算图示

Fig.3 Bishop strip method theoretical calculation diagram

分析土条 i 的作用力, 根据竖向力平衡条件, 有:

$$W_i + X_i - X_{i+1} - T_i \sin \alpha_i - N_i \cos \alpha_i = 0$$

整理有:

$$N_i \cos \alpha_i = W_i + X_i - X_{i+1} - T_i \sin \alpha_i \quad (1)$$

根据安全系数和摩尔-库伦准则有:

$$T_i = \tau l_i = \frac{\tau_f}{F_s} l_i = \frac{1}{F_s} [c_i' + (N_i - u_i) \operatorname{tg} \varphi_i'] l_i \quad (2)$$

将(2)式代入(1)式, 整理有:

$$N_i = \left[W_i + X_i - X_{i+1} - \frac{c_i' l_i \sin \alpha_i}{F_s} + \frac{u_i l_i \operatorname{tg} \varphi_i' \sin \alpha_i}{F_s} \right] \xi_i \quad (3)$$

其中:

$$\xi_i = \frac{1}{\left[\cos \alpha_i + \frac{\operatorname{tg} \varphi_i' \sin \alpha_i}{F_s} \right]} \quad (4)$$

根据各土条力对圆心的力矩平衡条件, 即所有土条的作用力对圆心点的力矩和为零, 此时土条间的作用力将相互抵消, 从而有:

$$\sum W_i x_i - \sum T_i R + \sum Q_i e_i = 0 \quad (5)$$

将(2)、(3)式代入(5)式, 整理有:

$$F_s = \frac{\sum \xi_i [c_i' b_i + (W_i - u_i b_i + X_i - X_{i+1}) \operatorname{tg} \varphi_i']}{\sum W_i \sin \alpha_i + \sum Q_i \frac{e_i}{R}}$$

Bishop 假定各土条之间的切向条间力 X_i 和 X_{i+1} 略去不计, 即可简化为:

$$F_s = \frac{\sum [c_i' b_i + (W_i - u_i b_i) \operatorname{tg} \varphi_i'] \xi_i}{\sum W_i \sin \alpha_i + \sum Q_i \frac{e_i}{R}} \quad (6)$$

式(6)为工程常用的简化 Bishop 法, 需要注意的是式(6)右侧参数 ξ_i 是含有 F_s 的表达式, 所以只能用试算或迭代计算的方法求出 F_s 。本文使用岩土设计软件的 Bishop 条分法模块对工程边坡进行稳定性分析计算。

3 边坡工程稳定性分析

3.1 工程现状

本工程边坡段平面上呈弧形长条带状, 纵向长约 21~60 m, 横向宽约 250 m, 面积约 9798 m², 滑体厚度 10~18.5 m, 总体积约 13.97×10⁴ m³, 属小型牵引式土质滑坡。滑坡高 25~35 m, 滑坡坡面坡度 20°~33°。由于长时间降雨、冲刷, 滑坡体基本处于近饱和状态, 边坡坡面有地下水渗出的痕迹, 坡脚有偶尔地下水渗出。

3.2 稳定性分析及推力计算

本工程为土质边坡, 结合削坡处理后的边坡^[8]采用极限平衡理论的 Bishop 条分法对边坡进行稳定性评价及剩余下滑力计算。分别考虑天然工况和暴雨(连续降雨)工况^[9]。天然工况: 考虑坡体处于天然状态, 地下水水面线以上荷载为土体天然自重, 以下为土体饱和自重, 本工程考虑坡体影响范围内未见地下水, 故只考虑土体天然自重; 暴雨或连续降雨工况: 考虑坡体处于饱水状态, 荷载为土体饱和自重。根据 Bishop 条分法的原理, 使用理正岩土软件计算, 输入削坡后的坡体和地层信息后计算出可能滑动面位置, 和根据地质报告分析的可能滑动面位置接近; 可能滑动面位置结果见图 4。

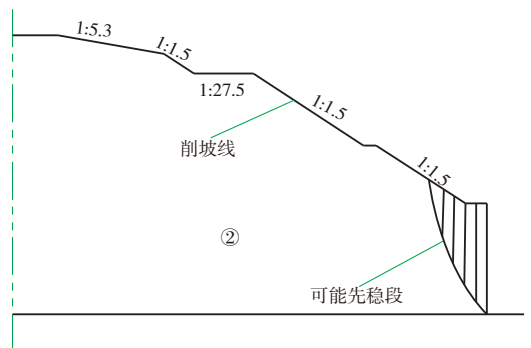


图 4 边坡模型剖面图

Fig.4 Slope model profile

Bishop 法稳定性计算, 先通过分析得到危险滑

动面曲线方程,通过积分方式计算出坡段总下滑力和总抗滑力及安全系数见表2。

表2 Bishop条分法稳定性计算结果

Table 2 Bishop strip method stability calculation results

计算工况	总下滑力/ (kN·m ⁻¹)	总抗滑力/ (kN·m ⁻¹)	安全系数
天然工况	1268.52	944.39	0.749
暴雨工况	1337.62	857.42	0.643

通过计算确定其稳定性系数均小于1.00,并且小于规范^[3]规定的稳定系数 $F_{st} = 1.35$,属于不稳定状态,需要进行治理。

Bishop条分法推力计算时,把危险坡段分成若干竖直条块,分别计算剩余推力,条块的曲线滑面可近似认为是直线滑面。注意:Bishop法计算推力,当上块剩余下滑力为负值时,认为传递给下块的推力为0 kN;本工程选择的剩余下滑力安全系数为1.35,分别计算天然工况和暴雨工况下坡体的推力如表3、表4所示。

取两种工况下较大的剩余下滑力912.39 kN/m,作为进行边坡防治工程设计的设计推力。

表3 Bishop条分法推力计算(天然工况)

Table 3 Bishop strip method thrust calculation (natural condition)

条块编号	上块传递推力/ (kN·m ⁻¹)	上块推力角度/ (°)	总下滑力/ (kN·m ⁻¹)	滑面抗滑力/ (kN·m ⁻¹)	粘聚力抗滑/ (kN·m ⁻¹)	剩余下滑力/ (kN·m ⁻¹)	剩余下滑力角度/ (°)
1	0	0	128.22	9.26	256.61	-137.65	76.43
2	0	76.43	298.94	38.84	151.16	108.94	66.53
3	108.94	66.53	478.94	69.23	1202.21	289.50	59.95
4	289.50	59.95	692.51	97.31	103.71	491.49	54.52
5	491.49	54.52	572.79	37.56	19.17	516.06	49.75
6	516.06	49.75	860.36	87.24	73.99	699.14	49.75
7	699.14	49.75	1154.40	156.27	85.74	912.39	45.41

表4 Bishop条分法推力计算(暴雨工况)

Table 4 Bishop strip method thrust calculation (rainstorm condition)

条块编号	上块传递推力/ (kN·m ⁻¹)	上块推力角度/ (°)	总下滑力/ (kN·m ⁻¹)	滑面抗滑力/ (kN·m ⁻¹)	粘聚力抗滑/ (kN·m ⁻¹)	剩余下滑力/ (kN·m ⁻¹)	剩余下滑力角度/ (°)
1	0	0	111.94	8.09	228.09	-124.24	76.43
2	0	76.43	260.99	33.92	134.37	92.70	66.53
3	92.70	66.53	415.74	59.72	106.86	249.17	59.95
4	249.17	59.95	601.02	83.45	92.19	425.39	54.52
5	425.39	54.52	496.38	30.56	17.04	448.78	49.75
6	448.78	49.75	749.37	76.20	65.76	607.41	49.75
7	607.41	49.75	1004.89	133.65	76.22	795.02	45.41

4 分项工程设计

4.1 锚拉桩—墙复合抗滑结构设计

以最不利工况推力计算结果为依据,分别考虑剩余推力和库伦土压力两种情况,先运用“m法”进行桩内力计算,根据计算桩间墙的内力,再进行抗滑桩锚杆设计^[10-11]和锚墩局压验算,最后对复合抗滑结构的各部分结构进行设计。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15 m,地上15 m,桩径2 m。根据经验桩身上设置4层锚索,距桩顶距离分别为0.5、3.5、5.5、8 m。

4.1.1 抗滑桩身结构设计

本工程抗滑桩嵌固段土层为硬塑含角砾质粘土,属土质地基,应按“m法”先判断抗滑桩的几何性质,再计算抗滑桩桩身内力。

$\alpha l_2 \leq 2.5$ 时,属刚性桩; $\alpha l_2 > 2.5$ 时,属弹性桩。

$$\alpha l_2 = \left(\frac{m_H B_P}{EI} \right)^{\frac{1}{5}} l_2 = 0.191 \times 15 = 2.866 > 2.5$$

式中: B_P ——桩的正面计算宽度,2 m; m_H ——m法的地基系数,3000 kN/m⁴; E ——桩的弹性模量,3 × 10⁷ kPa; I ——桩的截面惯性矩,0.785 m⁴; l_2 ——桩嵌固段长度,15 m。

经过判断为弹性桩,桩底按自由端进行计算。计算结果如下。

第 1 种情况:剩余推力作用下桩身内力见表 5。

表 5 剩余推力作用下桩身内力

Table 5 Inner force of pile under residual thrust

桩后最大弯矩=3001.946(kN·m)	距离桩顶 11.400(m)
桩前最大弯矩=2792.119(kN·m)	距离桩顶 21.200(m)
最大剪力=1007.185(kN)	距离桩顶 15.300(m)
最大位移=16.20(mm)	
第 1 道锚索水平拉力=271.971(kN)	距离桩顶 0.500(m)
第 2 道锚索水平拉力=266.632(kN)	距离桩顶 3.000(m)
第 3 道锚索水平拉力=258.591(kN)	距离桩顶 5.500(m)
第 4 道锚索水平拉力=244.305(kN)	距离桩顶 8.000(m)

第 2 种情况:库伦土压力作用下桩身内力见表 6。

表 7 抗滑桩桩身结构配筋及布置

Table 7 Size and layout of the reinforcement bars along the anti-slide pile body

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	17279	32Ø32+10Ø22	1678	Ø16@150+Ø16@1000
8.5~13.5	29036	40Ø32+10Ø22	1678	Ø16@150+Ø16@1000
13.5~22	17279	32Ø32+10Ø22	1678	Ø16@150+Ø16@1000

4.1.2 桩间墙、桩顶帽梁设计

抗滑桩间设置现浇钢筋混凝土挡墙,挡墙高 16 m(深入地下 1 m),厚 0.4 m,混凝土强度 C30;按剩余下滑力直接作用挡墙上,再由挡墙将下滑力传递给抗滑桩的路径分析;选 1 m 高挡墙按单向板配筋计算,墙上均布力为 $P_d=912.39$ kN/m,墙净跨 2 m,跨度 4 m。参照规范^[5]单向板配筋计算,双层配筋,水平配筋 Ø16 mm@125 mm,竖直配筋 Ø12 mm@150 mm。

桩顶设置帽梁,截面尺寸为 2.15 m×0.7 m,混凝土强度采用 C30,锁梁纵筋 30Ø16 mm,箍筋四肢箍 Ø10 mm@100 mm。帽梁的主要作用是增强抗滑桩的整体性,使较大水平位移点向两边分散避免单桩出现较大水平位移而损坏;同时作为桩间墙顶边的支座。

4.1.3 锚索设计

根据《边坡规范》^[3]锚索设计章节进行锚索计算:每根桩上设 4 根锚索,均为压力分散型锚索,单束锚索设计抗拔力 280 kN,每束锚索采用 6Ø15.24 mm 钢绞线等材料组成,由 3 个单元锚索组成,每个单元锚索分别由 2 根无粘结钢绞线内锚于钢质承载体组成。锚索设计锚固段总长 24 m,每个

表 6 库伦土压力作用下桩身内力

Table 6 Inner force of pile under Coulomb earth pressure action

桩后最大弯矩=8360.021(kN·m)	距离桩顶 11.200(m)
桩前最大弯矩=5304.354(kN·m)	距离桩顶 21.600(m)
最大剪力=2339.515(kN)	距离桩顶 15.300(m)
最大位移=29.38(mm)	
第 1 道锚索水平拉力=399.169(kN)	距离桩顶 0.500(m)
第 2 道锚索水平拉力=420.064(kN)	距离桩顶 3.000(m)
第 3 道锚索水平拉力=436.293(kN)	距离桩顶 5.500(m)
第 4 道锚索水平拉力=439.788(kN)	距离桩顶 8.000(m)

经过两种方法计算结果发现,出现最大弯矩、剪力所在的桩身位置是接近的,可作为相似设计的参考限定条件。

选第 2 种情况下的桩身内力按照规范^[5]进行桩身配筋计算,计算及配筋结果见表 7。

单元锚固段长度为 8 m。锚索垂直间距为 2.5 m,自上而下单根长分别为 36、36、34 和 32 m,入射角 25°,选用 M30 水泥砂浆灌孔。

锚索桩板式挡土墙剖面见图 5。

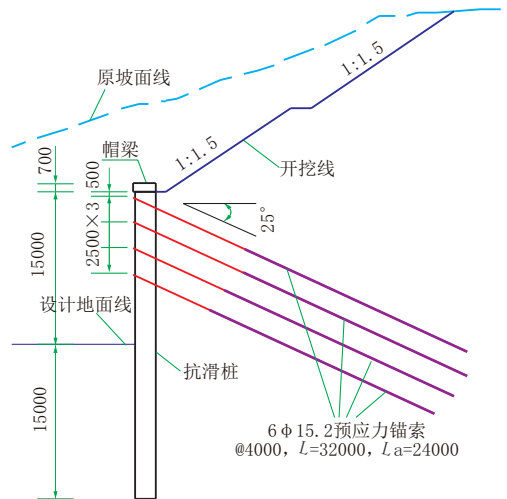


图 5 锚索桩—墙复合抗滑结构剖面图

Fig.5 Anchor cable and pile—wall composite anti slide structure profile

4.1.4 抗滑结构排水设施设计

桩后设置现浇钢筋混凝土挡土板中部设 8 排 Ø100 mm 的泄水孔,水平间距 4 m,排距 2 m,底排距桩前地面 0.5 m,外倾 5%;挡土板后设厚 300

mm的碎石反滤层,反滤层内侧设反滤透水土工布。排水设施布置见图6。

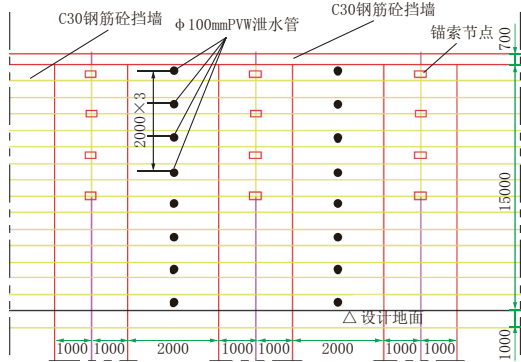


图6 锚索桩—墙复合抗滑结构立面图

Fig.6 Anchor cable and pile—wall composite anti slide structure elevation

4.2 抗滑结构以上坡面防护工程

各分段边坡坡面均采用锚杆水平间距 \times 垂直间距为 $2.6\text{ m}\times 1.3\text{ m}$,锚筋选用HRB400级 $\text{O}28\text{ mm}$ 钢筋,锚杆入射角 $\theta=15^\circ$,长度 $L=9\text{ m}$ 和 12 m ,锚孔孔径 130 mm ,锚杆设计抗拔力分别为 50 kN 和 60 kN ,孔内灌注M30纯水泥浆。坡面挂 $\text{O}8\text{ mm}@200\text{ mm}$ 钢筋网(边界外扩 1.0 m),坡面喷射C20细石砼,厚 100 mm 。坡面按水平间距 \times 垂直间距为 $1.3\text{ m}\times 2.6\text{ m}$,布设 $\text{O}50\text{ mm}$ PVC泄水孔,单根长 0.5 m 。

坡面使用锚杆挂网喷砼防护后,边坡分级设置锚索格构梁^[12-13],锚索设置于格构梁交叉处,锚索水平间距 \times 垂直间距为 $2.6\text{ m}\times 2.6\text{ m}$,单束锚索长根据潜在滑面深度和设计锚固段长度而定,长度约 $20\sim 32\text{ m}$,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。采用压力分散型锚索,单束锚索设计抗拔力 150 kN ,每束锚索采用 $6\text{O}15.24\text{ mm}$ 钢绞线组成,由3个单元锚索组成,每个单元锚索分别由2根无粘结钢绞线内锚于钢质载体组成。锚索设计锚固段总长 15 m ,每个单元锚固段长度为 5 m 。

在喷砼面上设格构梁,选用边长 400 mm 的方形截面,间距 $2.6\text{ m}\times 2.6\text{ m}$,混凝土强度等级C30,受力钢筋 $8\text{O}22\text{ mm}$,箍筋 $\text{O}8\text{ mm}@150\text{ mm}$;节点处四向设 $200\text{ mm}\times 200\text{ mm}$ 的腋角,腋角斜向加强钢筋选用单根长 1.2 m 的 $\text{O}16\text{ mm}$ 钢筋。格构梁间坡面覆土厚 0.4 m ,用于植草绿化(见图7)。

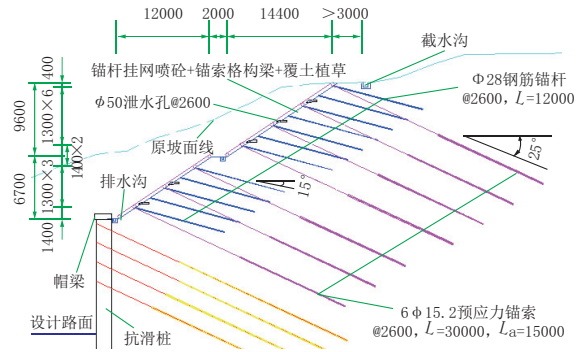


图7 抗滑结构以上坡面防护工程剖面图

Fig.7 Profile of slope protection works above the anti sliding structure

5 工程监测

根据道路边坡的特殊性,在边坡治理工程中,合理选择坡脚、坡腰、坡顶、构筑物上表面等节点位置设置简易监测措施,从而实时监控治理工程和治理后的坡体动态,检验治理效果,同时为今后的边坡治理、监测预警提供依据^[14]。

本工程主要以坡体表部地表变形观测为主,应联合使用道路工程的永久控制点为基准,定期观测坡体上设置的监测点位移情况,统计成图表,根据趋势适当预测;当发现不合理位移时应迅速上报主管机构,以便及时妥善处理,保证边坡影响区内各设施的正常使用。通过对比施工前后的变形监测数据,可以对边坡治理效果做出评价^[15]。

本工程于2020年1—5月施工,期间对坡体变形进行监测,目前所有监测点的变形均在允许范围内,工程的设计、施工方案是安全有效的。

6 结语

本文对因公路修建引出的土质高边坡,基于Bishop条分法进行了稳定性分析^[16-17],使用理正软件计算安全系数、剩余推力,验算支护结构;发现在剩余推力和库伦土压力两种计算方法下,抗滑桩的最大弯矩、剪力位置基本一致。在抗滑结构以上斜坡部分组合使用多种治理、监测措施,最大限度减小不利因素,进一步保证边坡安全。为今后的路堑高边坡处理设计提供实践经验及参考依据。

参考文献(References):

- [1] 何木,黄梦琼.柳州市柳东新区物流港片区港北纵二路工程设计施工说明书——纵二路高边坡设计项目[R].2019.

- HE Mu, HUANG Mengqiong. Design and construction specification for Gangbei Zhong-er-lu Project in the Logistics port area of Liudong New District, Liuzhou City—Zhong-er-lu High Slope Design Project[R].2019.
- [2] 崔华丽,王军朝,谢忠胜.通江县沙窝寺滑坡变形破坏分析及防治设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(8):107—111.
- CUI Huali, WANG Junzhao, XIE Zhongsheng. Deformation analysis and control measures of Shawosi Landslide in Tongjiang County[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(8):107—111.
- [3] GB 50330—2013,建筑边坡工程技术规范[S].
- GB 50330—2013, Technical code for building slope engineering[S].
- [4] GB 50011—2010,建筑抗震设计规范[S].
- GB 50011—2010, Code for seismic design of buildings[S].
- [5] GB 50010—2010,混凝土结构设计规范[S].
- GB 50010—2010, Code for design of concrete structures[S].
- [6] 史建芳.利用初等函数求解 BISHOP 法[J].黑龙江工程学院学报,2016,30(6):49—54.
- SHI Jianfang. A method of BISHOP based on elementary functions[J]. Journal of Heilongjiang Institute of Technology, 2016,30(6):49—54.
- [7] 王俊奇,李闯,董晔.Bishop 法的半解析解及其广义数学模型[J].水利与建筑工程学报,2015,13(6):123—128.
- WANG Junqi, LI Chuang, DONG Ye. The semi-analytical solution of BISHOP law and its generalized mathematical model[J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2015,13(6):123—128.
- [8] 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.
- [9] 邓晓飞,于漂罗,唐书君,等.青海大通西山滑坡稳定性分析及防治方案[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):16—21.
- DENG Xiaofei, YU Piaoluo, TANG Shujun, et al. Analysis on landslide stability in Datong County and the control plan[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(10):16—21.
- [10] 徐胜林,贾义斌.锚索抗滑桩加锚索地梁在滩坪特大型复杂滑坡治理工程中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(10):32—37.
- XU Shenglin, JIA Yibin. Application of anti-slip piles with anchor cables and grade beams with anchor in oversize complicated landslide control[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2005,32(10):32—37.
- [11] 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.
- [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] 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.
- [14] 李斌,黄芬.福堂水电站震后厂房边坡锚索加固及应力监测与分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(5):67—71,76.
- LI Bin, HUANG Fen. Slope anchor cable reinforcement of Futang Hydropower Station after earthquake and the stress monitoring analysis[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(5):67—71,76.
- [15] 宋军,尉壮岩,程英建,等.滑坡灾害防治工程效果评价方法初探[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(4):80—84.
- SONG Jun, YU Zhuangyan, CHENG Yingjian, et al. Study on evaluation approach to the effect of landslide hazards prevention and control engineering[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(4):80—84.
- [16] 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.
- [17] 何健保,杨何,缪信.三峡库区枣子树包滑坡稳定性和治理研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(12):84—87.
- HE Jianbao, YANG He, MIAO Xin. Study on stability and treatment of landslide in Zaozishubao of Three Gorges Reservoir Area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(12):84—87.

(编辑 王建华)