

文章编号:1009-0193(2004)04-0084-04*

某粘土边坡稳定性分析及支护设计

丁坚平,周小义,谭庆州,周丕康

(贵州工业大学 资源与环境学院,贵州 贵阳 550003)

摘 要:某办公楼场地北面垂直开挖的土质边坡高 5.0 - 13.5 m,需做永久性支护,通过现场勘察、室内试验的信息采集、稳定性分析及支护方案的比较认为,锚杆挡墙是该边坡最合理和经济的支护方案,已被建设方和质检部门采用和实施。

关键词:土质边坡;稳定性分析;支护设计;锚杆挡墙

中图分类号: TU431; TU753.8 **文献标识码:** B

1 工程概况

某办公室场地距贵阳市区约 14 km,其场地北缘切坡形成高度 7.5 - 13.5 m 土质边坡,长度大约 118.0 m.须做永久性支护治理。

2 边坡工程地质条件

该区平均降雨量 1196 mm,年均暴雨日数 2.2 天,24 小时暴雨强度 185 mm.拟开挖边坡为缓丘地貌单元,地面高程 1002.85 - 1020.72 m,高差 17.87 m.汇水面积不大,植被覆盖好,所以地表水对坡面、坡脚的影响小。边坡勘察地形图见图 1。

场地岩土构成为回填土、粘土夹粉质粘土和基岩,分述如下:

(1) 回填土(Q^{ml}) 为平整场地回填的碎石混粘土,厚度 0.0 - 2.4 m.

(2) 粘土夹粉质粘土(Q^{el}) 为残积成因,褐黄色、常夹碎石角粒(风化残积物),土层厚度变化较大(1.8 - 15.5 m),为硬 - 可软塑状态,底部有少量呈软塑状态。

(3) 基岩 为中三迭统松子坎组(T_2sz)地层,岩性为紫红、黄绿和灰色中厚层粘土岩,间夹至中厚层白云岩,属较软岩 - 软岩。

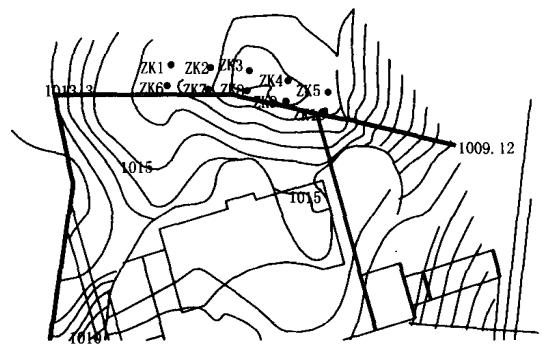


图 1 边坡勘察地形图

3 岩土物理力学性质及计算参数

土的抗剪强度标准值由室内土工实验结果统计修整后确定。可塑粘土承载力特征值依据计算确定;而硬塑粘土和软塑粘土、岩石参数类比相邻场地岩土条件,采用经验值,见表 1。

表 1 岩土抗剪强度标准值、锚固力粘结强度及承载力特征值

岩层名称	层厚 h (m)	重度 r (kN/m ³)	内摩擦角 $(^\circ)$	粘聚力 C (kPa)	锚固力粘结强度 f_{tb} (kPa)	基底摩擦系数 μ	承载力特征值 f_a (kPa)
硬塑粘土	4.5	16.50	16	35	30	0.25	200
可塑粘土	7.0	17	14	29.5	23	0.20	159

(续表)

岩层名称	层厚 $h(\text{m})$	重 度 $\gamma(\text{kN}/\text{m}^3)$	内摩擦角 ($^{\circ}$)	粘聚力 $C(\text{kPa})$	锚固力粘结 强度 $f_{\text{rb}}(\text{kPa})$	基底摩擦 系数 μ	承载力特征 值 $f_{\text{a}}(\text{kPa})$
软塑粘土	3.9	17	10	25	16	0.20	110
粘土岩		20	40	150	140	0.4	1800
白云岩		25	60	200	600	0.5	2500

4 边坡稳定评价

边坡稳定性分析采用圆弧滑动简布 (Janbu) 法,按开挖边坡高度 13.5 m,坡角 80°,坡度系数 0.18,坡长 118.0 m 及表 1 中的参数计算(考虑到边坡土体状态变化较大和分布不均匀等原因, c 、 γ 的取值作适当降低),得到边坡安全系数 $K=0.933 < 1.25$ (见表 2、图 2)可知边坡极不稳定,必须做永久性支护,确保办公楼及周围场地的安全。由于场地粘土厚度 3.0 - 50.0 m、 $f_{\text{ak}} < 200 \text{ kPa}$,判定场地属Ⅲ类场地,基岩属Ⅱ类场地。边坡工程安全等级为二级。抗震设防烈度小于 6 度。不考虑地震效应的影响。

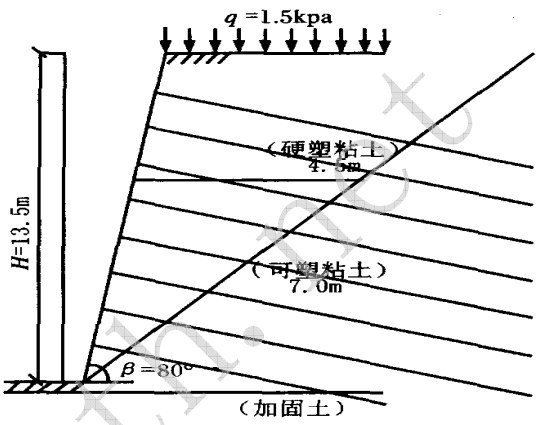


图 2 稳定性分析及土钉墙围护结构图

表 2 圆弧滑动简布法计算结果

最不利滑动面:															
滑动圆心 = (- 11.910, 23.280) (m)				滑动半径 = 26.150 (m)				滑动安全系数 = 0.933							
起始 x (m)	终止 x (m)	l_i (m)	C_i (kPa)	i ($^{\circ}$)	条实重 (kN)	浮力 (kN)	地震力 (kN)	渗透力 (kN)	附加力 X (kN)	附加力 Y (kN)	下滑力 (kN)	抗滑力 (kN)	m_i	H_i (kN)	
0.000	1.164	28.536	1.33	29.50	14.00	50.64	0.00	0.00	0.00	0.00	37.13	53.33	1.00746	27.09	
1.164	2.329	31.483	1.37	29.50	14.00	151.13	0.00	0.00	0.00	0.00	78.21	72.14	0.99376	- 1.36	
2.329	2.430	33.123	0.12	29.50	14.00	17.82	0.00	0.00	0.00	0.00	- 12.24	3.03	0.98500	- 40.22	
2.430	3.431	34.577	1.22	29.50	14.00	173.73	0.00	0.00	0.00	1.50	79.78	66.12	0.97655	- 34.65	
3.431	4.431	37.285	1.26	29.50	14.00	161.38	0.00	0.00	0.00	1.50	100.01	73.69	0.95915	2.21	
4.431	5.432	40.094	1.31	29.50	14.00	147.73	0.00	0.00	0.00	1.50	100.96	73.07	0.93883	7.52	
5.432	6.433	43.025	1.37	29.50	14.00	132.61	0.00	0.00	0.00	1.50	100.14	72.24	0.91523	12.66	
6.433	7.433	46.103	1.44	29.50	14.00	115.81	0.00	0.00	0.00	1.50	96.86	70.99	0.88787	17.11	
7.433	8.434	49.363	1.54	29.50	14.00	97.03	0.00	0.00	0.00	1.50	89.94	69.00	0.85610	19.99	
8.434	9.435	52.856	1.66	29.50	14.00	75.85	0.00	0.00	0.00	1.50	77.21	65.53	0.81899	19.52	
9.435	10.435	56.656	1.82	29.50	14.00	51.63	0.00	0.00	0.00	1.50	54.38	59.02	0.77516	11.96	
10.435	11.436	60.886	2.06	29.50	14.00	23.34	0.00	0.00	0.00	1.50	11.47	45.40	0.72238	- 11.71	
11.436	11.682	63.829	0.56	25.00	5.00	0.98	0.00	0.00	0.00	0.37	- 25.82	11.67	0.52606	- 30.12	
总的下滑力 = 788.043 (kN) ;总的抗滑力 = 735.241 (kN) ;土体部分下滑力 = 788.043 (kN) ;土体部分抗滑力 = 735.241 (kN)															

5 边坡支护方案比较

根据场地地质条件和边坡周围环境情况,边坡支护方案可以采用锚杆挡墙和重力式挡土墙两个方案,其经济技术指标见表 3.通过比较,确定该边坡采用锚杆挡墙。

表 3 边坡支护方案比较表

项目	挡土墙(重力式)	锚杆挡墙
优点	工艺技术要求低,容易掌握 建筑材料就地取材	施工占地少,可较少破坏坡顶植被 逆作法施工,施工速度快 投资少,造价 40.5 万元
缺点	基础宽,占地多,破坏坡顶植被 传统作法施工,工期长 投资大,造价 80 万元	工艺技术要求高 要求连续施工

6 边坡支护设计

边坡最大的高度为 13.5 m,其上覆土层总厚度为 15.4 m(硬塑粘土:4.5 m;可塑粘土:7.0 m;软塑粘土:3.9 m)。根据边坡岩土最不利组合及硬塑粘土的离散性,在边坡计算中将硬塑粘土作为可塑粘土考虑,进行土层厚度调整(可塑粘土:11.5 m;软塑粘土:3.9 m),其计算结果偏于安全。

该边坡坡顶无建(构)筑物,之外属于都溪林场,不能预计将来的使用情况,均布荷载暂按 1.5 kPa 考虑。边坡的重要性系数: $\gamma_0 = 1.1$ 。在土体自重和地表均布荷载作用下,土钉所受的最大拉力或设计内力 N :

$$N = p S_v S_h / \cos \alpha \quad p = p_l + p_q$$

式中: α —土钉的倾角; p —土钉长度中点所处深度位置上的侧压力; S_v 、 S_h —纵、横向间距;

p_l —由支护土体自重引起的侧压力; p_q —地表均布荷载引起的侧压力。

各层土钉在设计内力作用下应满足: $F_{s,d} N \leq 1.1 f_{yk} d^2 / 4$

式中: $F_{s,d}$ —土钉的局部稳定性安全系数,取 1.2 - 1.4; N —土钉设计内力;

d —土钉钢筋直径; f_{yk} —钢筋抗拉强度标准值。

各层土钉的长度宜满足下列条件: $l \geq l_1 + F_{s,d} N / d_0$;

式中: l_1 —土钉轴线与倾角等于 $(45^\circ + \alpha/2)$ 斜线的交点至土钉外端点的距离;

d_0 ——土钉孔径; τ —土体与土钉之间的界面粘结强度。

在土体自重和地表均布荷载作用下,喷混凝土面层所受的侧向土压力 p_0 可按下式估算:

$$p_0 = p_{01} + p_q \quad p_{01} = 0.7[0.5 + (s - 0.5)/5] p_l + 0.7 p_l$$

式中: s 为土钉水平间距和竖向间距中较大值,单位为 m。

采用锚杆、土钉、肋柱、连梁及喷射混凝土面板等进行共同支护。孔径 $\phi = 80 - 110$ mm;倾角 $\alpha = 15^\circ$;锚杆主筋采用 16 - 25 螺纹钢,间隔 2.0 - 3.0 m,设置对中支架。纵向间距 1.0 - 1.5 m;横向间距 2.0 - 3.0 m。注浆材料为 M₂₀水泥砂浆,注浆压力 0.1 - 0.3 MPa。根据场地钻探资料揭示的地质情况及不同的坡高,分为 5 个支护段,以 3 - 3 支护段为例:

土钉:本段坡高 11.5 - 13.5 m,设置 6 排土钉共 108 颗,钉长 9.0 - 12.0 m;2 排预应力锚杆共 20 颗,杆长 15.0 m(图 2)。

面板:采用钢筋喷射混凝土结构,喷射混凝土厚度 100 mm,分两次施工,第一次初喷 50 mm,然后施工锚杆,在挂钢筋进行第二次喷射。采用 12 钢筋作主筋,主筋与锚杆焊接连接, 6.5 钢筋作副筋,纵横间距 @300 mm,钢筋网片结点绑扎。

锚杆:主筋采用 16 - 25 螺纹钢,间隔 2.0 - 3.0 m 设置对中支架。注浆材料为 M₂₀水泥砂浆,注浆压力 0.1 - 0.3 MPa。锚杆与水平面夹角 15° 。

土钉受力后的承载力及边坡稳定性参数见表 4。

表 4 最后一工况土钉受力和承载力及边坡稳定性

土钉 编号	深度 (m)	长度 (m)	倾角 ($^\circ$)	直径 (mm)	q (kPa)	水平 间距	T_{jk} (kN)	T_{uj} (kN)	T_{uj}/T_{jk}	T_g (kN)
1	1.5	12	15	80	70	2	0	52		62
2	3	12	15	80	70	2	0	66		62
3	4.5	15	15	110	70	3	0	166		152
4	6	12	15	80	70	2	0	94		62
5	7.5	12	15	80	65	2	90	100	1.11	97
6	9	15	15	110	65	3	131	207	1.58	152
7	10.5	12	15	80	65	1	86	125	1.46	97
8	12	9	15	80	65	1	159	207	1.30	97

注: q —土钉粘结强度; T_{jk} —土钉所受荷载; T_{uj} —土钉承载力; T_g —土钉材料抗拉强度

为保证施工安全,开挖必须采用由上而下分层开挖,注意留保护层,尽量少扰动边坡原状土,按设计规定高度开挖。在上层支护未完成前,严禁进行下一次深度开挖。

由于边坡坡顶倾向坡外,降雨将沿坡面自然排向坡外,无需在坡顶设置截水沟。在坡脚设置排水沟引出场地及坡面上的雨水。为了保证安全,在坡顶 1.0 m 处设置轻质围墙,坡面进行植被铺挂处理。

各支护段土钉墙整体及土钉墙稳定验算结果见表 5。

表 5 稳定验算结果

支护段编号		1 - 1 支护段	2 - 2 支护段	3 - 3 支护段	4 - 4 支护段	5 - 5 支护段
土钉墙	整体安全系数	1.8	1.62	1.38	1.62	1.8
	抗滑移安全系数	62.99	10.9	7.22	10.9	62.99
	抗倾覆安全系数	7.19	5.29	6.45	5.29	7.19

7 结论与建议

- 1. 本次边坡支护采用锚杆挡墙支护方案,该方案技术可行、经济合理,并最大限度保留坡顶植被,节约建设用地,是本边坡支护的最佳方案。
- 2. 锚杆支护施工应严格执行相关技术规范,安设钢筋前用压缩空气将孔内虚土清理干净。注浆时要保证充盈系数必须大于 1.1。
- 3. 土质边坡暴露在空气中易失水产生干缩,在遇水后产生崩解。在开挖后尽快进行封闭,以确保安全。
- 4. 边坡支护施工前应做好边坡位移观测及地表水治理工作,以便在边坡支护施工过程及以后建筑物的使用中,长期对边坡进行观测,以保证做到边坡工程的信息化施工。
- 5. 工程的设计通常与实际工程是紧密相连的,采用动态设计与信息化施工技术往往可以弥补原设计的不足。施工中的动态设计与信息化施工技术强调工程技术人员不离作业现场,及时处理设计中无法预料的实际问题,根据现场情况调整一些参数等,从而保证边坡的施工和以后使用安全。

参考文献:

[1] GB 50330 - 2002 ,建筑边坡工程技术规范[S].

[2] GB 50021 - 2001 ,岩土工程勘察规范[S].

[3] GB 50011 - 2001 ,建筑抗震设计规范[S].

[4] 曾 廉.挡土墙设计[M]. 北京:中国铁道出版社,1999.

[5] 陈肇元,崔京浩.土钉支护在基坑工程中的应用[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2000.

[6] 高大钊,陈忠汉,黄书秩,等.深基坑工程[M]. 北京:机械工业出版社,2002.

Supporting Design and Stability Analysis for Clay Slope

DING Jian-ping ,ZHOU Xiao-yi ,TAN Qing-zhou ,ZHOU Pi-kang
(College of Resources and Environment ,GU T ,Guiyang 550003 ,China)

Abstract :The north vertical cut slope in an office building field (height :13.5m) must be supported permanently. Based on the stability analysis of the slope ,field investigation ,lab tests and the comparisons among several support schemes ,it was tested that anchor retaining wall is the most reasonable and economical support scheme. Now it is adopted by the construction department ,and applied.

Key words :clay slope ;stability analysis ;support design ;anchor retaining wall