

地层岩性及工程特性进一步划分为7个大层如下:

粘质粉土填土①层及房渣土①₁层;褐黄色、中密、稍湿—湿的粘质粉土、砂质粉土②层及褐黄—褐黄(暗)色、湿、可塑的粉质粘土、重粉质粘土②₁层;粉质粘土、重粉质粘土③层及褐黄色、中密—密实、湿的粘质粉土、砂质粉土③₁层;褐黄色、密实、湿的细砂、中砂④层及褐黄色、密实、湿的粘质粉土④₁层;杂色、中密、湿的圆砾⑤层及褐黄色、密实、湿的细砂、中砂⑤₁层及褐黄色、密实、湿的砂质粉土⑤₂层;褐黄色、湿、可塑—硬塑的粉质粘土、重粉质粘土⑥层及褐黄色、密实、湿的细砂、中砂⑥₁层;褐黄色、密实、湿的细砂、中砂⑦层及杂色、密实、湿的圆砾⑦₁层。

勘察期间 25 m 范围内未见地下水。

3 支护设计选型

3.1 桩锚支护技术

桩锚支护结构对周边建筑物的稳定性较好。尤其是不会对周边建筑物造成不均匀沉降。因其场地

内北侧不具备护坡桩施工工作面,即使施工微型桩也不具备条件,故无法实施。

3.2 土钉墙支护技术

土钉墙支护施工具有经济、快速、及时、施工机具简单、占用场地小的优点。但它对地层的依赖性较大,纯土钉墙支护需要一定放坡空间,土体产生一定变形后才能对土体被动施加约束,坡顶的位移及沉降不能得到有效的控制,具有一定的风险性。仅适用于二级或三级基坑。

3.3 预应力锚杆肋板墙支护技术

预应力锚杆肋板墙支护技术用竖向肋梁代替桩锚支护结构里的排桩,用横向肋梁代替桩锚支护结构里的腰梁,同时继承了土钉墙随挖随支护的机动灵活性,对临近建筑物的位移及沉降有一个很好的控制。

经综合考虑,本基坑支护工程北侧靠近教学楼处设计采用内嵌预应力锚杆肋板墙支护。

4 设计计算

预应力锚杆肋板墙结构设计如图 2 所示。

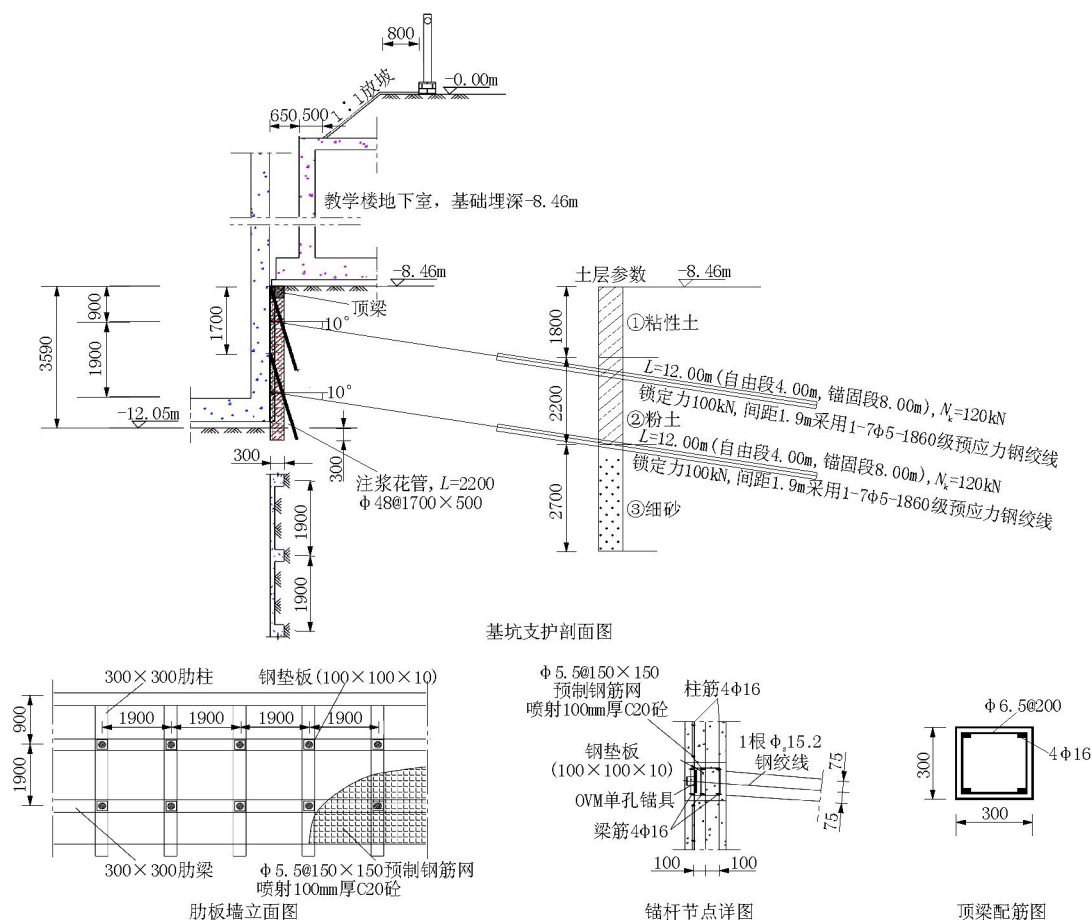


图2 预应力锚杆肋板墙剖面图

4.1 钢筋混凝土肋梁配筋计算

按照建筑地基十字交叉基础的方法进行计算(见图3),将柱荷载在纵横2个方向条形基础上进行分配,同时应满足变形协调关系;假定交叉点处纵梁和横梁之间为铰接,一个方向的条形基础产生转角,不引起另一个方向条形基础的内力,结点上2个方向的力矩分别由对应的纵梁和横梁承担。

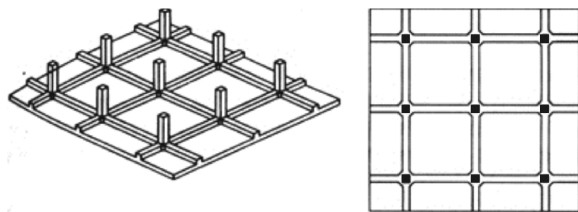


图3 柱下十字交叉基础示意图

锚杆的承载力设计值在坡面上的垂直分量即为格构梁节点上的集中荷载 P_i , 根据静力平衡条件, 集中荷载可以分解为2个方向的分力, 即 $P_i = P_{ix} + P_{iy}$, 2个方向分别为多跨连续梁, 2个方向的分力的计算依据文克勒弹性地基梁, 计算公式如下:

$$S = 1/\lambda = \sqrt[4]{4EI/(bk)}$$

$$P_{ix} = [b_x S_x / (b_x S_x + b_y S_y)] P_i$$

$$P_{iy} = [b_y S_y / (b_x S_x + b_y S_y)] P_i$$

式中: k ——基床系数; EI ——梁截面的抗弯刚度; S ——梁的弹性特征长度。

将锚杆的位置假设为铰支座, 格构梁中的纵横梁视为作用在铰支座上的多跨连续梁, 变形缝设在跨中, 因而多跨连续梁的两端为悬挑梁; 将锚杆的轴力设计值等效为2个方向上的分力后, 再将分力等效为该方向上作用在梁上的均布荷载, 按照结构力学的计算方法分别计算弯矩和剪力, 依此进行配筋。

4.2 预应力锚杆计算

预应力锚杆肋板墙的支护及开挖计算按照无嵌入的排桩多锚支护, 即按桩锚理论进行计算(不计被动土压力, 即水平抗力)。其受力简图见图4, 基坑整体稳定性验算与土钉墙类似。

当基坑顶部教学楼可视为无限均布荷载 q_0 时, 由肋板墙所受水平荷载标准值(kPa)可有以下式计算:

$$e_{ak} = (\gamma H + q_0) \tan^2(45^\circ - \varphi/2) - 2c \tan(45^\circ - \varphi/2)$$

式中: H ——基坑深度, m; q_0 ——坑顶附加荷载。

锚杆轴向拉力可按以下式计算:

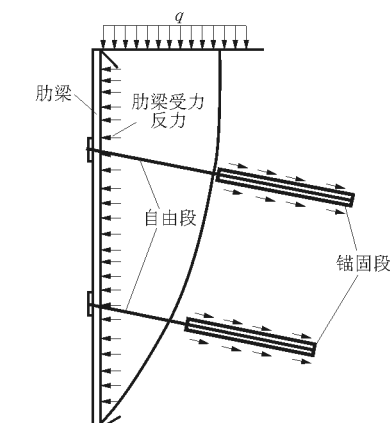


图4 预应力锚杆肋板墙受力简图

$$N_{ak} = e_{ak} S_x S_y / \cos \theta$$

式中: N_{ak} ——锚杆所受轴向拉力, kN; S_x 、 S_y ——锚杆的水平、垂直间距, m; θ ——锚杆倾角, ($^\circ$)。

4.3 设计参数(见表1)

表1 预应力锚杆肋板墙设计参数

肋板墙设计参数							
挂网	坡面挂 $\phi 5.5@150 \times 150$ 规格的预制钢筋网片						
面层混凝土厚度/mm	100						
面层混凝土强度	C20						
肋梁、肋柱、顶梁	截面 $300\text{ mm} \times 300\text{ mm}$, 主筋 $4\phi 16$, 箍筋为 $\phi 6.5@200$						
肋梁、肋柱、顶梁混凝土强度	C20						
锚杆设计参数							
排数	埋深/ m	水平间 距/m	总长/ m	自由 段/m	锚固 段/m	拉力 N_{ak}/kN	锁定值/ kN
第 1 排	0.9	1.9	12.0	4.0	8.0	120	100
第 2 排	2.8	1.9	12.0	4.0	8.0	120	100

5 预应力锚杆肋板墙施工

5.1 施工工艺流程(图5)

5.2 施工技术要求

(1)土方开挖严格按设计要求控制坡度, 人工修坡与机械开挖配合, 机械修坡预留 30 cm 人工修坡, 人工垂直修坡至教学楼地下室底板向内 32 cm, 修坡时要求通过挂线和经纬仪配合, 确保土坡的面层平整, 并在土体表面插上控制标高的短钢筋头, 保证坡面平整度, 坡面平整度 $< \pm 20 \text{ mm}$ 。

(2)北侧教学楼地下室底板下土方开挖及支护采用“跳仓法施工”, 即“分段分层、隔段施工、分层支护、连成整体”, 每段开挖长度 20 ~ 25 m, 间隔开挖。每层挖土深度与锚杆垂直间距相匹配, 保证每

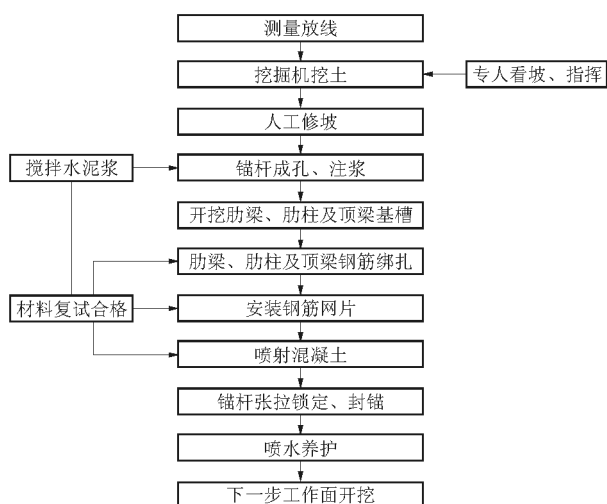


图 5 预应力锚杆肋板墙施工工艺流程图

层土方开挖深度 $< 2\text{ m}$, 一则便于锚杆施工, 二则避免超挖造成边坡塌方, 同时影响北侧教学楼的安全。

(3) 修坡结束后确定锚杆孔位, 预应力锚杆采用锚杆钻机成孔, 成孔后检查孔深、孔径、拉杆长度, 合格后及时安放锚索和注浆管进行注浆。

(4) 锚杆成孔注浆完毕后, 测量定出肋梁及肋柱、顶梁的位置, 开挖出肋梁及肋柱、顶梁基槽, 确保肋梁、肋柱横平竖直, 同时使锚杆位于肋梁、肋柱节点中心处。

(5) 将肋梁、肋柱、顶梁钢筋加工完毕, 先将肋柱、顶梁安装在坡面上, 再安装肋梁, 肋梁、肋柱、顶梁等钢筋尺寸、规格、布筋间距、焊接强度、保护层厚度等, 都必须符合设计要求和规范规定。

(6) 施工肋板, 进行肋板钢筋网片安装, 肋板钢筋网片穿过肋梁、肋柱、顶梁, 肋板钢筋为 $\Phi 5.5 @ 150 \times 150$ 预制钢筋网片, 钢筋网之间搭接 300 mm , 网片与坡面之间保证 $20 \sim 30\text{ mm}$ 距离, 钢筋网片伸入基底以下 30 cm 。

(7) 肋梁、肋柱、顶梁及肋板均喷射 C20 混凝土, 最后预留主体结构 2 cm 人工找平层及锚杆张拉作业面。

(8) 肋板墙施工完毕 $3 \sim 4$ 天, 混凝土面层强度达到 70% 后, 上垫板、锚具, 对锚杆进行张拉与锁定, 张拉锁定完毕后喷射混凝土进行封锚处理。之后进行下步土方开挖。

6 基坑监测

基坑监测情况能对基坑现状安全做一个如实的反应, 在实际施工过程中, 本基坑北侧靠近教学楼处的最大位移为 7 mm , 沉降为 6 mm 。位移及沉降量值在基坑施工完成后已趋于稳定, 达到了教学楼以及基坑内施工安全的基本要求。

7 结语

预应力锚杆肋板墙结构在北京市第 55 中学学生地下食堂基坑工程中的成功应用, 说明了以下几点。

(1) 在地下水埋藏较深(地下水埋藏浅可结合降水), 坡顶有临近建筑物, 放坡空间小的情况下, 预应力锚杆肋板墙支护结构可替代桩锚支护结构, 同样可保证边坡坡顶的变形在安全范围内。

(2) 相较于土钉墙支护体系, 预应力锚杆肋板墙支护结构施工过程与其相似却大大提高了安全度。

(3) 在对环境变形要求严格, 施工空间受限无法采用桩锚支护结构和土钉墙支护结构, 地质条件适宜的条件下, 该技术施工易行, 并能有效的节约经济投入, 有较大的应用空间。

参考文献:

- [1] GB 50330—2013, 建筑边坡技术规范[S].
- [2] CECS 22: 2005, 岩土锚杆(索)技术规程[S].
- [3] 贾绪富, 毛宝江, 万元杰, 等. 大预应力锚杆 + 肋梁支护结构在潍坊市超深基坑工程中的应用[J]. 安徽建筑, 2011, (1): 69-71.
- [4] 刘岩. 锚杆挡墙边坡支护设计中格构梁的计算方法探讨[J]. 建筑科学, 2012, 28(S1): 91-94.
- [5] 包福廷. 井字梁结构静力计算手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1989.
- [6] 赵明华. 基础工程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010: 74-76.
- [7] 何世鸣, 赵振国, 吴盛斌, 等. 长螺旋搅拌桩钢管桩复合支护技术在基坑工程中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(1): 55-57.
- [8] 何世鸣, 李江, 张明中, 等. 水泥土型钢管桩系列技术研究与应用[C]//第十八届全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流年会论文集. 北京: 地质出版社, 2015.