

# 预应力锚杆在深基坑围护中的应用

张 岩, 王万德

(辽宁省交通高等专科学校, 辽宁 沈阳 110122)

**摘要:**通过工程实例,对深基坑围护中土层锚杆的设计、整体稳定分析作了论述,同时对影响锚杆承载力的因素作了分析。

**关键词:**预应力锚杆;基坑围护;挡土墙

**中图分类号:**U473.2 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2007)01-0012-03

**Application of Pre-stressed Anchor Bolt in Deep Foundation Pit Shoring/ZHANG Yan, WANG Wan-de** (Liaoning Provincial College of Communications, Shenyang Liaoning 110122, China)

**Abstract:** This paper illuminates the design of anchor bolt and the whole stability in deep foundation pit shoring through the field cases; meanwhile, it analyses the influential factors on the bearing capacity of anchor bolt.

**Key words:** pre-stressed anchor bolt; foundation pit shoring; retaining wall

## 1 工程概况

某铁路新客站位于原城站旧址,贴沙河西侧。基坑开挖范围包括站房和广场的地下停车场、地下设备用房及防护设施等,总的开挖范围南北长 272.0 m,东西宽 108.5 m,整个基坑一次开挖,开挖深度 8.0 m。

基坑西南角有江城饭店,西北角有红楼饭店,饭店离基坑最小距离为 10 m,其间有部分水管及铁路通讯电缆经过,施工时必须严格加以保护。为了减少挡土墙结构的水平位移,经过多方案比较,此两处采用大直径钻孔灌注桩加预应力锚杆的支护方式(其余位置放坡开挖)。基坑平面布置如图 1 所示。

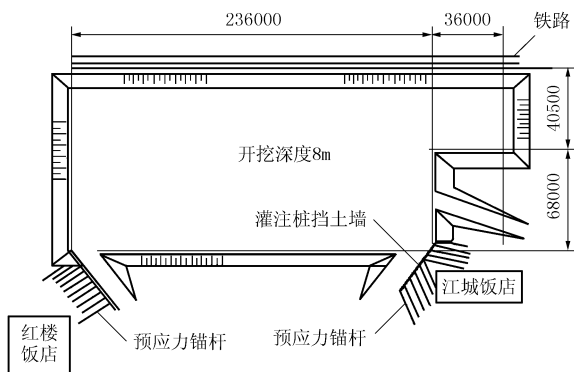


图 1 基坑平面布置示意图

## 2 地质情况

根据勘察单位提供的资料,该工程场地有关地

质情况大致如下:

①层,人工填土,褐~灰黑色,湿,松散,含砖瓦碎片;

②层,砂质粉土,浅灰黄色,很湿,松散~稍密;

③<sub>1</sub>层,砂层粉土,灰黄色,很湿,中密,局部呈粉砂,该层中还局部夹有松散状态的砂粉土透镜体,基坑基本上都落在该土层上;

③<sub>2</sub>层,砂层粉土,灰~黄绿色,很湿,稍密~中密,混有细砂;

③<sub>3</sub>层,砂质粉土,灰~灰绿色,很湿,中密,局部有粉细砂出现。

各土层埋藏深度及力学指标见表 1。

表 1 场地土层力学指标表

土层 编号	勘察报告 试验值		勘察报告推荐值 (折减 0.5~0.75)		使用值		层面 标高 /m
	c/kPa	$\varphi/(\circ)$	c/kPa	$\varphi/(\circ)$	c/kPa	$\varphi/(\circ)$	
①					0	12	6.86
②	17	31	11.9~12.75	21.7~23.25	10	25	5.35
③ <sub>1</sub>	17	34.94	6~6.5	24.4~26.18	8	30	3.05
③ <sub>2</sub>	17	34.94	5.7~6.1	24.5~26.28	8	30	-5.45
③ <sub>3</sub>	14.38	31.67	10~10.8	22.2~23.75	12	25	-10.45

## 3 土层锚杆设计

**设计原则:**土层锚杆的承载力主要取决于锚固体的抗拔力,而锚固体的抗拔力可以从两方面考虑,一方面是锚固体应具有一定的安全系数,另一方面在受力情况下发生的位移必须不超过一定的允许值。如果场地对围护的变形及侧向位移量有严格限

收稿日期:2006-08-03

作者简介:张岩(1965-),男(汉族),辽宁人,辽宁省交通高等专科学校建筑工程系副主任、副教授,采矿工程专业,研究方向为地下工程、隧道工程,辽宁省沈阳市沈北新区虎石台建设南一路5号,(024)89708776、13079287758, zhangyanjx@yahoo.com.cn。

制,围护结构又不允许有较大的变形,这时应采用预应力锚杆为好。

该工程采用一层锚杆,锚固体直径为 127 mm,间距为 1.5 m,倾角为 30°,以强度控制为主,变形控制为辅,计算步骤如下。

### 3.1 计算支点反力

假想锚点位移为零,按等值梁法计算支点反力,计算简图见图 2。支点反力  $N=440$  kN;锚杆拉力  $T=507$  kN。

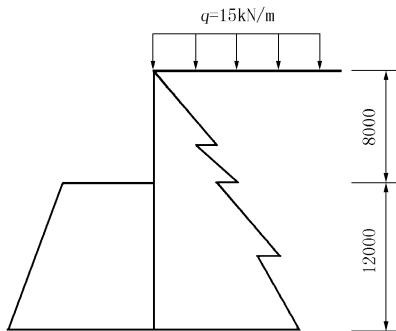


图 2 支点反力计算简图

### 3.2 计算锚固段长度

根据拉力计算锚杆锚固段长度:

$$T = \pi \tau L_m D / K$$

式中: $T$ ——锚杆承载力设计值; $D$ ——锚固体直径; $\tau$ ——土的抗剪强度,取值 120 kPa(二次灌浆后); $L_m$ ——锚固段长度; $K$ ——锚杆抗拔力安全系数,取值 1.55(上海同济大学的研究成果)。

求得: $L_m = 16.5$  m。

### 3.3 计算自由段长度

如图 3, $O$  点为土压力零点, $OE$  为设想滑裂面,锚杆  $AD$  与水平线  $AC$  夹角为  $\alpha$ , $AB$  为自由段长度。

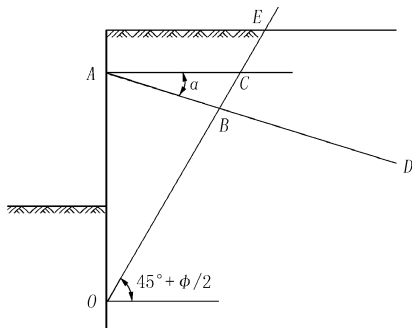


图 3 自由段长度计算简图

按几何原理:

$$AB = \frac{AO \tan(45^\circ - \phi/2) \sin(45^\circ + \phi/2)}{\sin(135^\circ - \phi/2 - \alpha)}$$

取  $\phi = 25^\circ$ ,  $\alpha = 30^\circ$ , 则  $AB = 6.5$  m。

### 3.4 锚杆材料选取

该工程锚杆选用  $27\Phi_5^b$  高强度钢丝,长度 23 m,抗拉强度标准为 1470 MPa,锚具采用 ZM-30 型锚固体,张拉力取锚杆承载力的 65%,即 330 kN。

锚固体选用 1: 0.45 的纯水泥浆。第一次灌浆压力以 0.3~1.0 MPa 为主。12 h 后第二次灌浆力取 3~5 MPa。

### 3.5 求水平刚度系数

根据选用的材料求锚杆的水平刚度系数:

$$K_r = 3AE_s E_c A_c / [(3L_f E_c A_c + E_c A L_m) \cos \alpha]$$

$$E_c = (AE_s + A_m E_m) / (A + A_m)$$

式中: $A$ ——杆体截面积; $A_c$ ——锚固体截面面积; $E_s$ ——杆体弹性模量; $E_c$ ——锚固体组合弹性模量; $L_m$ ——锚杆锚固段长度; $L_f$ ——锚杆自由段长度; $A_m$ ——锚固体中浆体截面积; $E_m$ ——锚固体中浆体的弹性模量。

求得: $K_r = 44.4$ 。

### 3.6 用 M 法计算挡土墙的变位,验算锚杆的实际内力,复核锚固体强度

根据锚杆的水平刚度系数  $K_r$  计算,结果见图 4,求得支点反力  $N = 375.3$  kN,挡土墙顶点水平位移  $S = 2.2$  mm,挡土墙最大水平位移  $S = 16.95$  mm,满足上海市《基坑工程设计规程》(DGJ 08-61-97)中地下水管线变位  $< 20$  mm 的要求。

## 4 锚杆的整体稳定性分析

锚杆有多种破坏形式,当设计依靠锚杆保持结构体系稳定的挡土墙时,虽然抗拔力已有安全系数,但是挡土墙、锚杆、土体组成的结构,有可能出现整体破坏。整体稳定破坏有 2 种:一种是从墙脚向外推移,整个体系沿着一条假定的滑缝下滑,造成土体破坏,这种破坏一般采用古典圆弧法计算,土层锚杆长度必须超过滑动面,该工程按瑞典条分法计算(见图 5),稳定安全系数为 1.57;另一种是挡土墙、锚杆的共同作用超过土的安全范围,因而从墙脚处剪力面开始向墙锚拉方向形成一条深层滑缝,造成倾覆,这种稳定计算用克兰茨方法(见图 6), $OD$  为代替墙, $EO$  为墙脚至锚杆锚固段中心点连线, $E_a$  为作用于挡土墙的主动土压力( $\delta = 0$ )。

$N = 382.5$  kN,  $\phi = 32^\circ$ ,  $\gamma = 18.6$  kN/m<sup>3</sup>,  $K_a = 0.307$ ,  $AC = 6.5$  m,  $CO = 16.5/2 = 8.25$  m,锚杆间距 1.5 m,求安全系数  $K$ 。

$$\theta = \arctan(10.526/12.74) = 39.9 > \phi \quad (1)$$

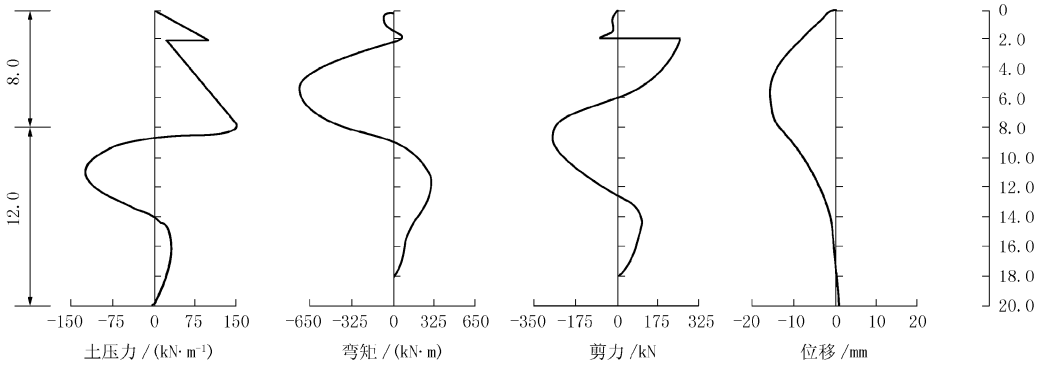


图4 挡土墙内力位移曲线

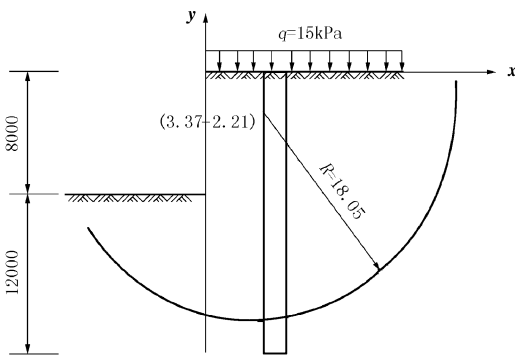


图5 条分法稳定计算简图

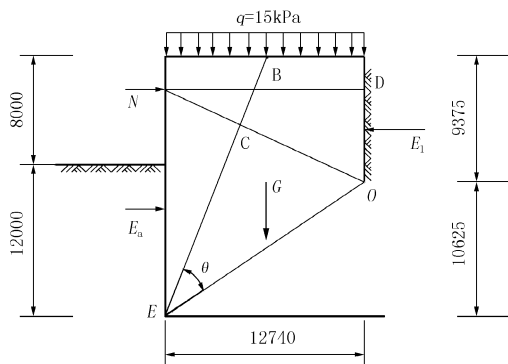


图6 克兰茨法稳定计算简图

$$G = [(9.375 + 20) / 2] \times 12.74 \times 18.6 \times 1.5 = 5220.6 \text{ kN} \quad (2)$$

$$E_{ah} = (1/2) \times 18.6 \times 20.20 \times 1.5 \times 0.307 + 15 \times 20 \times 0.307 \times 1.5 = 1851 \text{ kN} \quad (3)$$

$$E_{ih} = (1/2) \times 18.6 \times 9.375 \times 9.375 \times 1.5 \times 0.307 + 15 \times 9.375 \times 0.305 \times 1.5 = 441 \text{ kN} \quad (4)$$

整体承载力:

$$F_h = \frac{E_{ah} - E_{ih} + G \tan(\varphi - \theta)}{1 + \tan \alpha \tan(\varphi - \theta)} = 805 \text{ kN} \quad (5)$$

$$K = F_h / N = 805 / 382.5 = 2.1 > 1.5 \quad (6)$$

土层的强度一般低于砂浆强度,如果施工灌浆的工艺良好,土层锚杆孔壁对于砂浆摩阻力取决于沿接触外围的土层抗剪强度。土的抗剪强度有不同的确定方法:(1)根据经验积累确定;(2)经过测试确定;(3)根据公式计算  $\tau = \alpha \tan \varphi + C$ ,一般宜做现场试验确定  $\tau$  值。

### 5.2 压力灌浆对抗拔力的影响

压力灌浆对锚杆的抗拔力起很大作用,灌浆时在锚固段端头加堵浆器后,压力将增大很多,灌浆压力使水泥浆颗粒渗入土层中去,增加了锚固体与土层的摩擦力,从而增加锚杆的抗拔力。

### 5.3 锚杆形式对抗拔力的影响

如有条件采用特种成孔机械施工,则锚杆底部可考虑形成扩大头,增加抗拔力。

## 6 结语

该工程施工完毕后,经现场实测、张拉,该支护结构变位小,强度高,比预期效果好。

超大深基坑,开挖范围很大,如果用对撑或中心岛内支撑作为支点,支撑费用很大;选用预应力土层锚杆可以充分发挥土的作用,不失为一种优选方案,既可以减少一般庞大内支撑的浇注和凿除,节约投资,又可以为大开挖提供方便,以利施工,综合经济效益显著。

### 参考文献:

- [1] 刘建航. 深基坑工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
- [2] 余志成, 施文华. 深基坑支护设计与施工[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
- [3] 龚晓南, 高有潮. 深基坑工程设计施工手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
- [4] 黄强. 深基坑支护工程设计技术[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 1995.
- [5] 赵锡宏. 高层建筑深基坑围护工程实践与分析[M]. 上海: 同济大学出版社, 1997.

## 5 影响锚杆承载力的因素

### 5.1 土层对锚杆抗拔力的影响