

# 劲性桩在芜湖世茂滨江花园淤泥质软土深基坑中的应用

王 伟

(核工业南京建设有限公司,江苏 南京 210003)

**摘 要:**对深基坑支护设计中几种方案从安全、造价、适用性等诸多方面进行对比、方案选型和优化,力求设计及施工方案具备安全、经济、适用及工期合理等优点,以便控制基坑支护工程位移和沉降,满足对周边环境保护要求。

**关键词:**淤泥质土;深基坑;劲性桩;锚杆;位移控制

**中图分类号:**TU473.2 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2008)11-0048-05

**Application of Reinforced Pile in Deep Foundation Pit in Silty Soft Ground of Wuhushimao Engineering/WANG Wei**  
(Nanjing Construction Co., Ltd., China National Nuclear Corporation, Nanjing Jiangsu 210003, China)

**Abstract:** Comparison was made on several designs of deep foundation pit support about safety, cost and adaptability, so as to get optimized project plan to control displacement and settlement of foundation pit supporting engineering and protect around environment.

**Key words:** silty soil; deep foundation pit; reinforced pile; anchor rod; displacement control

## 1 工程概况

芜湖世茂滨江花园项目位于芜湖市中心的沿江景观。西临长江,南至青戈江,东部分别与吉和南路、石头路、健康路相接。整个项目用地沿江布置。基坑开挖深度 5.8~6.3 m,基坑面积约 16000 m<sup>2</sup>。工程地质条件较差,杂填土分布较厚,淤泥质软土厚度大,施工中的不可预见因素较多。该地下室基坑工程施工场地周边环境较复杂,东侧地下室外墙线紧贴规划用地红线,施工场地极为狭小,附近有建筑物、地下管线,这将给边坡支护、土方施工等带来一定的难度。具体情况如图 1 所示。

## 2 工程地质条件

### 2.1 土质条件

根据岩土工程勘察报告所揭示的该区域土层情况为:

①<sub>1</sub> 杂填土,褐色、灰黄色、灰色,松散,主要为建筑垃圾及碎石砖块组成,层厚 0.4~1.8 m;

①<sub>2</sub> 素填土,灰黄色、软塑,层厚 0.5~1.3 m;

②<sub>1</sub> 粉质粘土,灰~灰黄色,软~可塑,层厚 0~0.8 m;

②<sub>2</sub> 淤泥质粉质粘土,灰色,软~流塑,含腐植物,夹薄层粉土粉砂,层厚 15.1~23.5 m;

③ 粉质粘土:灰黄~黄褐色,可~硬塑,层厚 0.3~15.5 m。

### 2.2 地下水状况

场地地下水主要为潜水及上层滞水。上层滞水主要赋存于表层填土层中。填土层由松散的碎石,砖块组成,含水量较丰富,水量及水位随季节变化较大,透水性强。潜水主要赋存于淤泥质粉质粘土中。淤泥质粉质粘土水量高,厚度大,但透水性较弱,给水性差。

## 3 基坑维护体系设计

### 3.1 围护方案选择

综合场地地理位置、地质条件、基坑开挖深度及周围环境,本基坑围护重点主要是东侧支护,其它三面周围环境简单,无地下管线、建筑物等并且周边有放坡空间。基坑东侧具有如下特点:

(1)地质条件差,基坑开挖和围护桩所及深度位于淤泥质粉质粘土和杂填土层,呈饱和、软~流塑状态,物理力学性质差,对围护结构受力和变形控制不利;

(2)无放坡空间,基坑东侧与健康路相距较近,基坑侧壁与马路之间地下埋设有两条地下管线,一条埋深为 2.5 m、直径为 800 mm 的供水管线,一条埋深为 1.5 m、直径为 700 mm 的城市污水管线,基坑侧壁只能直立支护;

(3)场地狭小,深层搅拌桩主要依靠相互联成网状整体的桩体挡墙来抵抗土体侧压力,但理论计

收稿日期:2008-04-17

作者简介:王伟(1974-),男(汉族),江苏南京人,核工业南京建设有限公司副总工程师、国家壹级注册建造师,建筑工程专业,从事工程施工及管理工作,江苏省南京市察哈尔路 16 号,wang55257@163.com。

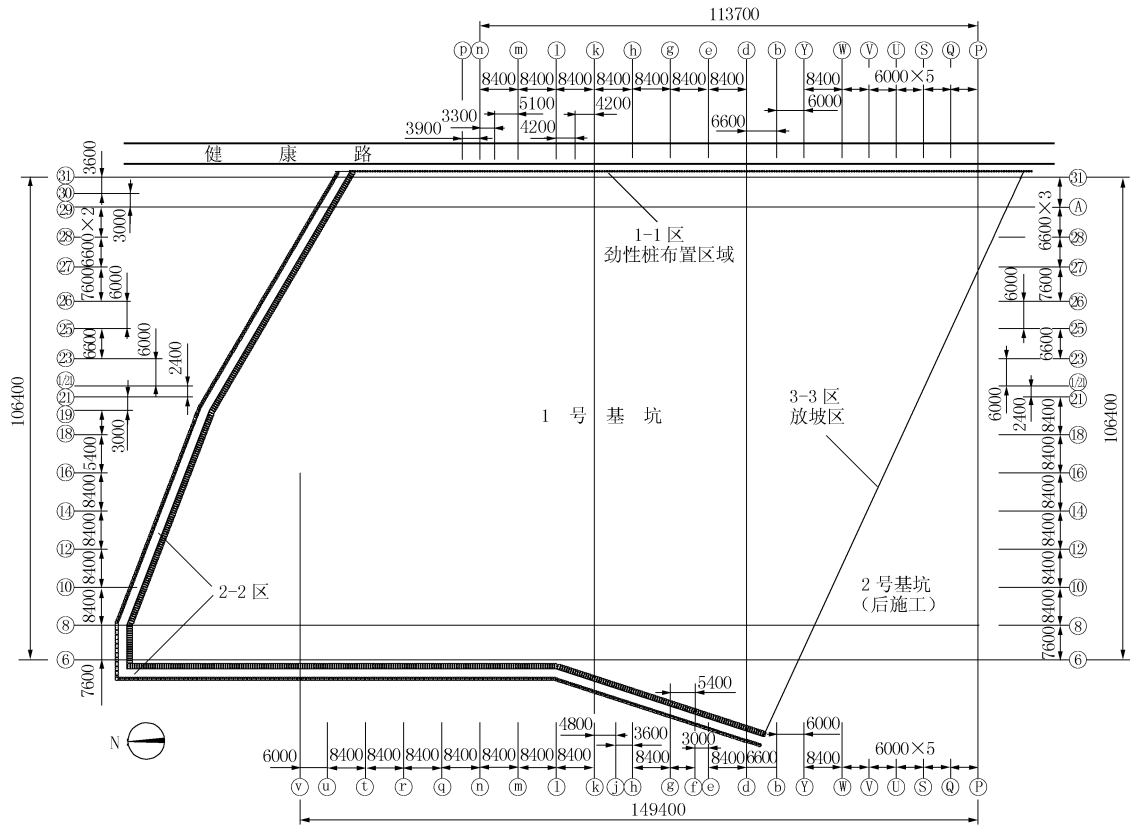


图 1 基坑周边环境及平面布置图

算需要至少 2 m 宽的挡墙才能维护稳定,鉴于场地条件限制无法使用;大直径钻孔灌注桩成孔时可能对地下管线造成损坏,该方案在该区域也无法实施;

(4) 由于该场地地下土层主要是淤泥质粉质粘土,如果采用悬臂支护,会因基坑侧壁位移过大而影响周边管线和道路安全,而采用内支撑一是造价高,二是给基坑内部施工带来不便。

针对上述特点,基坑围护工程设计与施工应着重解决在软土层设置的支护体系。基坑边坡支护方式和支挡结构经济、科学、合理、便于施工是方案选型的前提条件;防止基坑围护系统沉降、位移过大、确保边坡及周边环境安全基坑支护是重点。经过对常用支护结构形式的分析、比较和优化,最后确定采用劲性桩加锚杆围护结构体系,该支护结构具有经济安全、施工方便、工期短等优点。虽然土层锚杆设计和施工有许多成功先例,但在软土中采用锚杆还需合理确定锚杆所能提供的锚拉力。

### 3.2 围护结构设计计算

基坑围护体系计算分析包括劲性桩及锚杆强度、长度验算,各工况下基坑内部整体稳定验算,基坑外部整体稳定验算,基坑整体抗倾覆稳定验算,基坑整体抗滑移稳定验算等。根据国家有关规程和规

范,土压力按固结快剪指标、水土结合法计算。具体计算如下。

#### 3.2.1 内力计算(见表 1)

表 1 1 号段内力计算结果表

内力类型	基坑内侧最大弯矩 /(kN·m)	基坑外侧最大弯矩 /(kN·m)	最大剪力 /kN
弹性法计算值	32.40	11.34	29.37
经典法计算值	9.79	19.42	20.14
内力设计值	34.43	12.05	36.72
内力实用值	34.43	12.05	36.72

#### 3.2.2 锚杆设计(见表 2)

表 2 锚杆设计参数表

支锚道号	支锚类型	水平间距 /m	竖向间距 /m	入射角 /(°)	总长 /m	锚固段长度 /m
1	锚杆	1.650	2.000	20.00	16.00	10.50
2	锚杆	1.100	1.500	15.00	20.00	14.50
3	锚杆	1.650	1.500	15.00	12.50	7.00

#### 3.2.3 锚杆受力(见表 3)

表 3 锚杆受力计算结果表

支锚道号	锚杆最大内力/kN		锚杆内力/kN	
	弹性法	经典法	设计值	实用值
1	54.53	25.85	68.17	68.17
2	79.11	33.44	98.89	98.89
3	38.52	39.34	48.15	48.15

### 3.2.4 劲性桩设计

桩径 350 mm, 桩长 9.00 m, 混凝土强度 C25, 桩顶标高 -1.50 m, 2 根 12 槽钢, 槽钢之间连接采用 2

根 Ø18 钢筋, 长 250 mm、间距 500。

### 3.2.5 包络图(见图 2)

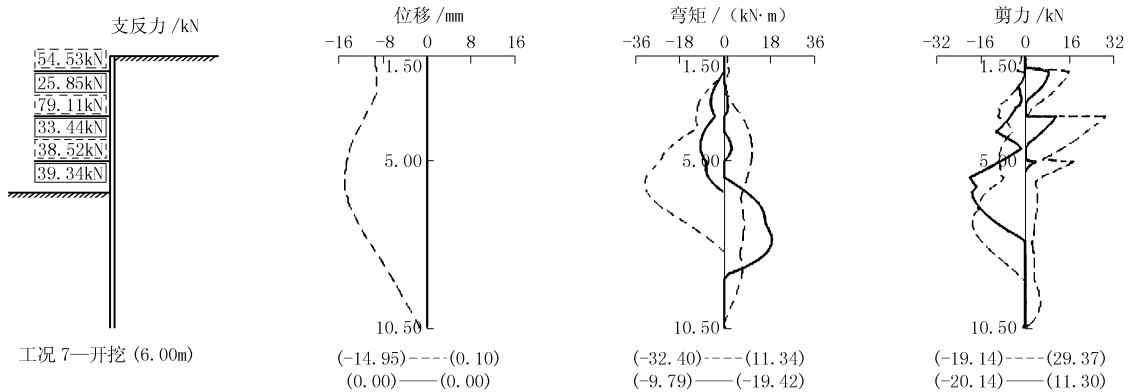


图 2 工况 7——开挖(6.00 m)包络图

### 3.2.6 地表沉降(见图 3)

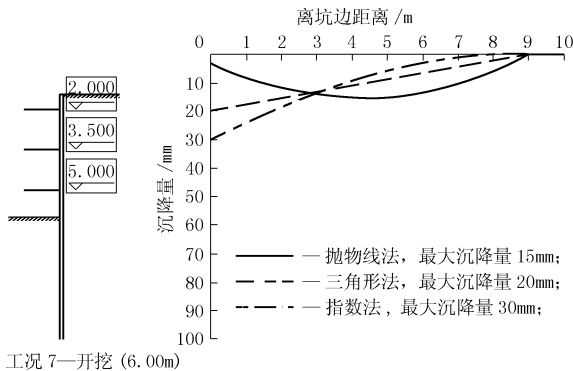


图 3 地表沉降曲线

### 3.2.7 稳定性验算

计算方法: 采用瑞典条分法, 土条宽度 1.00 m; 应力状态为总应力法; 滑裂面数据: 整体稳定安全系数  $K_s = 1.585$ ; 圆弧半径  $R = 11.782$  m, 圆心坐标  $X = -0.364$  m、圆心坐标  $Y = 7.260$  m。

抗倾覆稳定性验算抗倾覆安全系数:

$$K_i = M_p / M_a$$

式中:  $M_p$ ——被动土压力及支点力对桩底的弯矩;  $M_a$ ——主动土压力对桩底的弯矩;  $K_i = (893.535 + 1407.878) / 1130.399 = 2.035 \geq 1.200$ , 满足规范要求。

### 3.3 劲性桩加锚杆围护结构参数

采用劲性桩结构形式, 为加强围护结构的稳定性, 在基坑侧壁设置 3 排锚杆, 见图 4。

为了防止淤泥质软土从劲性桩中间挤出, 故采用挂网喷混凝土措施, 见图 5。

为确保工程质量, 采用了适当的排水措施排除地表水和基坑作业面积水。为防止地表水流入坑内, 在基坑顶设置一道排水沟和若干个集水坑。工作面集水时, 挖临时排水沟和集水坑, 及时排除积水。

### 4.2 劲性桩施工要求

根据施工的土层主要为软土层, 钻头选用硬质合金钻头。

(1) 钻机钻进时, 钻机液压的压力应控制在 1.5 ~ 2.5 MPa, 配套供水压力为 0.3 MPa, 转速一般控制在 220 r/min, 最大推进距离一般为 500 mm/次。

(2) 钻孔采用泥浆护壁钻进, 清孔可利用密度小的泥浆或清水。

(3) 清孔结束后及时安放焊接好的槽钢, 槽钢安放完毕, 布置 1 根外径为 20 ~ 25 mm 的白铁皮管或 PVC 管作注浆管, 注浆管出口距孔底 150 ~ 300 mm。

(4) 投放骨料要快, 以便骨料能顺利进入孔底, 在灌填石料时, 应始终利用注浆管注水清孔。

(5) 根据设计要求, 注浆浆液可配成水泥砂浆, 采用 32.5 普通硅酸盐水泥, 水泥浆的水灰比可控制在 0.5 ~ 0.6, 压浆力可控制在 0.3 ~ 0.5 MPa。从开始注浆起, 对注浆管要进行不定时上下松动, 注浆结束后应立即拔出注浆管, 每拔 1 m 必须补浆一次, 直至拔出为止。

(6) 水泥要有质量保证单, 并应取样复试合格后方可使用, 不同品种、标号、生产厂家的水泥不得混用于同一根桩内。

(7) 应设专人对每根桩的注浆量和骨料投放量等施工情况做详细的记录。

## 4 施工技术要求

### 4.1 施工排水

### 4.3 锚杆施工要求

#### 4.3.1 钻孔

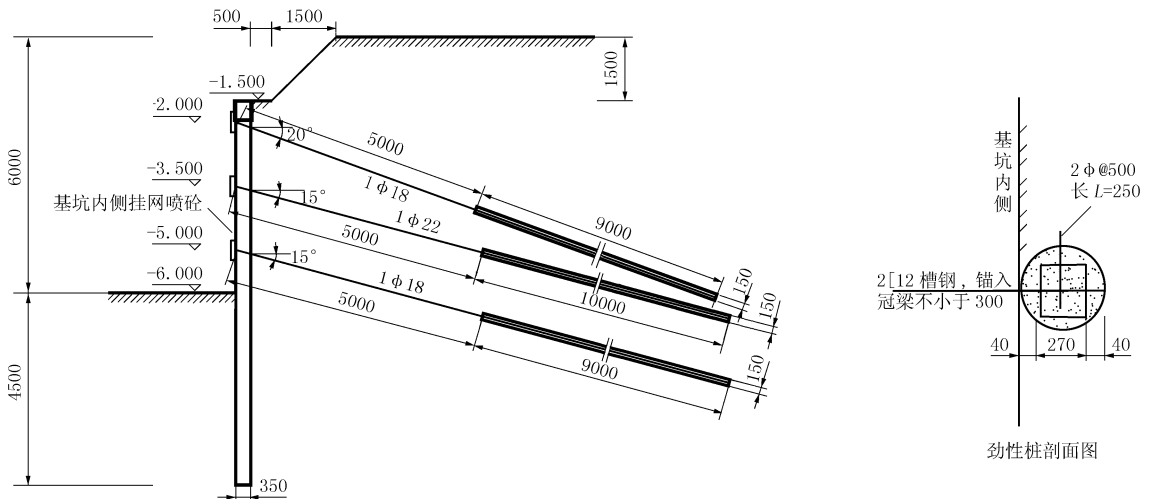


图 4 锚杆支护示意图

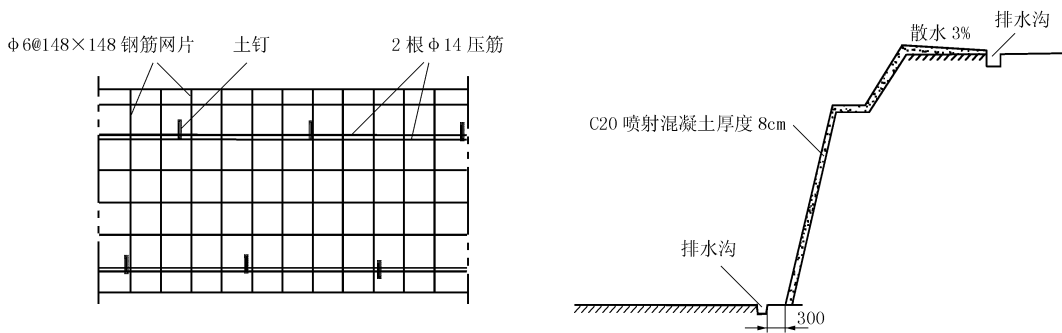


图 5 挂网喷混凝土示意图

钻孔工艺会直接影响土层锚杆的承载能力、施工效率和整个支护工程的成本。因此,根据工程的土质情况,选择钻孔方法为湿作业法。当土层锚杆处于地下水位以下时,可选用湿作业法成孔。

#### 4.3.2 安放拉杆

钢筋拉杆安放时设置定位器,防止放入时搅动土壁,通常钻孔长度比锚杆长度增加 200~400 mm。锚固体水泥浆强度达到设计强度。

#### 4.3.3 一次灌浆

第一次灌浆时灌浆管管端离锚杆末端 500 mm,灌浆时先灌锚固段,待浆液初凝再对锚固段进行张拉,然后再灌注自由段,使锚固段与自由段界限分明;灌浆压力 0.3~0.5 MPa,流量控制在 100 L/min。在压力作用下,浆液冲出封口流向钻孔,并将水及泥浆置换出来。第一段灌浆量可根据孔径及锚固段长度而定。灌浆后将注浆管拔出,可重复使用。

锚杆孔内采用全程注浆,注浆材料采用水灰比 0.50 的水泥浆液,水泥标号为 32.5 普通硅酸盐水泥。

#### 4.3.4 后压浆

待第一次灌注的浆液初凝后,进行第二次压浆。

二次压浆时间可根据注浆工艺试验确定或在第一次灌浆锚固体强度达到 5 MPa 后进行。压力控制在 2.5~5.0 MPa,并稳压 2 min,浆液冲破第一次灌浆体,向锚固体与土的接触面之间扩散,使锚固体直径扩大,增加径向压应力。由于挤压作用,使锚固体周围的土受到压缩,孔隙比减小,含水量减少,也提高了土的内摩擦角。由此,提高土层锚杆的承载能力。后压浆用灌浆管的管端距离锚杆末端 1000 mm 左右,管底出口处用黑胶布封口,从管端 500 mm 处开始向上每隔 2 m 作出 1 m 长的花管,花管的孔眼为  $\varnothing 8$  mm,花管的段数视锚固段长度而定。后压浆配合比为:水泥:水=1:0.4。

#### 4.3.5 张拉锚固

锚杆的张拉与施加预应力(锁定)应符合以下规定:(1)锚固段强度 > 15 MPa 并不小于设计强度等级的 75% 后方可进行;(2)张拉顺序应考虑对邻近锚杆的影响;(3)锚杆宜张拉至设计荷载的 0.9~1.0 倍后,再按设计要求锁定;(4)锚杆张拉控制应力不应超过锚杆杆体强度标准值的 0.80 倍。

为减小对邻近锚杆的影响,又不影响施工进度,

采用“隔二拉一”的方法。张拉采用分级加载,每级加载后应稳定3 min,最后一级加载应稳定5 min。施工中还应做好张拉记录。

#### 4.4 基坑开挖

施工时应注意边开挖边支护,分层开挖,分层支护,挖完亦支护完。本工程锚杆墙工作面土方分5层开挖,土方开挖必须和支护施工密切配合,超挖深度 $\leq 500$  mm,需提供锚杆成孔施工工作面宽度6 m左右。上层锚杆完成注浆5天以上方可进行下一层边坡面的开挖,开挖时铲头不得撞击锚头。开挖进程和锚杆墙施工形成循环作业。

(1)合理安排施工顺序,开挖遵循分层分段开挖的原则,严禁超挖;

(2)基坑6 m范围内堆载 $\geq 15$  kPa;

(3)基坑底最后30 cm土方宜由人工挖除,挖土至坑底后随即用施工素混凝土垫层,坑底土体暴露时间 $\geq 24$  h。

### 5 现场监测与应急措施

本工程在软粘土地基中开挖,开挖深度大,现场施工监测显得尤为重要。监测数据可成为现场施工管理人员和技术人员判断工程是否安全的依据,从而使整个基坑开挖过程处于监控之中。一旦出现数

据异常,及时分析原因并采取相应的措施,控制险情的发展,保证基坑的安全。

#### 5.1 围护施工监测内容

(1)围护体的地表位移及沉降;(2)基坑周边土体深层水平位移;(3)地表开裂状态;(4)基坑渗漏和基坑内外的地下水位变化;(5)坑底土体有无隆起,围护外侧土体有无下沉。

#### 5.2 应急措施

为了确保安全施工,针对假设出现的几种险情,制订的应急措施包括:(1)止水帷幕裂漏的应急措施;(2)水泥搅拌桩折断的应急措施;(3)围护体滑移的应急措施;(4)坑底土体隆起的应急措施;(5)道路或地下管线破坏的应急措施。

### 6 监测结果

为了分析支护结构在基坑开挖及地下室施工过程中的稳定性,我们对现场锚杆进行抗拔试验,锚杆抗拔试验与计算和设计值基本吻合。沿基坑周边布置观测点,特别对基坑东侧观测点进行加密,每15 m设置一个点,东侧总计布设9个点,土方开挖期间每天观测一次,地下室底板浇筑完成后每3天监测一次,经过长达3个月的观测,得出锚拉劲性桩结构水平位移和沉降分布(见图6)。

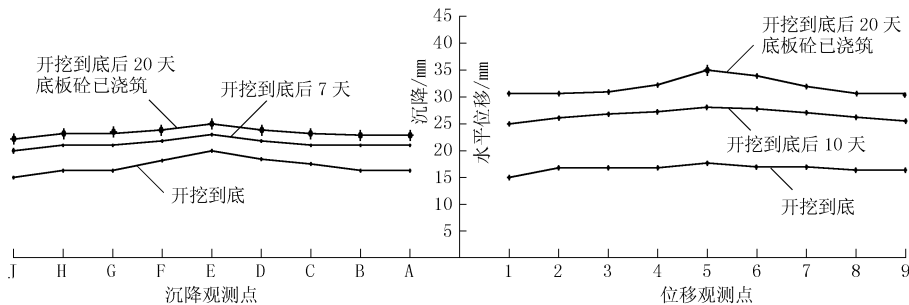


图6 水平位移及沉降观测结果

从图6可以看出,支护结构水平位移以及沉降值最大发生在基坑支护中间部位,最大水平位移为40 mm,最大沉降为35 mm。该数值与理论计算有一定出入,这可能与基坑长边空间效应以及锚杆设置在软土中长时间受力局部软土可能有较小蠕变有关。但通过现场实际情况来看,本工程基坑施工工期4个多月,该变形对周边环境未产生危害。由此可见锚拉劲性桩支护结构不仅保证了基坑及地下室顺利施工,而且也保证了道路、地下管线的安全。

### 7 几点体会

(1)软土区采用锚拉支护结构最关键就是确定

合理的锚杆抗拔力,无经验地区一定要通过抗拔试验来确定锚杆所能提供的拉拔力,因为目前锚拉力计算大多利用经验公式,而且土的力学参数取值也具有有一定地区的经验。

(2)对于受到场地限制的基坑支护,劲性桩可以说是一种不错的基坑支护结构体系,但要注意槽钢放置的方向,保证组合槽钢惯性矩与基坑侧壁的一致性,以便槽钢充分发挥抵抗土侧压力变形能力。

(3)沿江地区最常见的工程地质特征就是深厚的软粘土淤泥层,本工程为类似的基坑支护积累了一定经验。