

# 排桩+预打式斜支撑桩方案在软土中的应用研究

余浩强 陈胜煜

浙江城建勘察研究院有限公司 浙江 杭州 310000

**摘要：**在软土地层中基坑支护选型较为固定，特别是在淤泥质土层中支护一般采用排桩+水平支撑的支护形式，但根据预打式斜向支撑桩在软土地层中的实际应用，其可替代大面积的水平向支撑，解决施工空间的问题，同时大大缩短施工工期，降低工程造价。本文基于工程案例，阐述预打式斜向支撑桩的施工工艺、支撑节点和实际施工过程中存在的问题，同时通过启明星深基坑软件计算和PLAxis二维的数值模拟的数据，结合基坑监测数据，分析预打式斜向支撑桩在软土地层中的可行性和可靠性，为预打式斜向支撑在软土地层中的应用提供设计和施工参考。

**关键词：**软土地层；预打式斜支撑桩；基坑；支护结构；数值分析

## 引言

在软土地层中，基坑支护多采用竖向排桩+水平向支撑的形式，竖向排桩多采用钻孔桩、SMW工法桩等形式，水平支撑多采用钢筋砼和钢支撑。在基坑尺寸较大情况下，大面积使用水平支撑时，会影响施工，且支撑安装及拆除增加围护成本，同时影响工期，不符合绿色环保施工要求<sup>[1]</sup>。目前预打式斜支撑桩在较多工程中已有运用。预打式斜支撑桩与传统的斜支撑的差异较大，传统斜支撑需配合盆式开挖，坑边预留三角土，地下室边跨需预留施工缝。

针对以上水平向支撑和传统斜撑的特点，目前较多基坑围护工程采用预打式斜支撑桩代替水平向支撑和传统斜撑作为支撑构件，预打式斜支撑桩是在传统排桩的支护形式上，向坑内采用高压旋喷或强制搅拌工艺的形式加固体，并在加固体内部插入钢格构、型钢作为支撑受力构件，端部与排桩顶冠梁连接，形成排桩、预打式斜向支撑桩、基底土层的受力体系，方便土方开挖，降低基坑围护成本，同时降低对周边环境的影响<sup>[2]</sup>。

目前预打式斜支撑桩在实际工程中的应用并不多，而且对于该形式的支护研究相对较少。本文以实际工程案例为基础，结合计算数据和监测数据分析预打式斜支撑桩在软土工程中的可靠性，为类似工程提供参考和借鉴依据。

## 1 工程概况

本工程位于杭州市市区，总用地面积约29000m<sup>2</sup>。东北角位置设两层地下室，其余位置为一层地下室，地库工程桩采用管桩，主楼位置工程桩为钻孔桩，开挖面积约25700m<sup>2</sup>，基坑周长约860m，一层地下室大面积开挖深度5.700m，二层地下室开挖深度约9.600m。基坑东侧为

已建的3~5F的已建建筑物及其内部道路，整体两层地下室；基坑南侧为在建道路；基坑西侧为已建道路；基坑北侧为已建道路。

## 2 工程地质情况

根据岩土工程勘察报告，各岩土层的构成与分布特征自上而下分述如下：

第①-1层杂填土：杂色，松散，性质不均，主要由碎石、粘性土组成。

第①-2层素填土：杂色，松散，性质不均。

第②层粉质粘土：灰色、灰黄色，软可塑状，局部夹少量稍密状粘质粉土。

第③层粘质粉土夹淤泥质粉质粘土：灰色，很湿，稍密，局部夹流塑状淤泥质粉质粘土。

第⑤层粉质粘土：灰色、灰黄色、褐黄色，硬可塑状，干强度中等，韧性中等。

## 3 基坑支护方案设计

### 3.1 围护桩方案

综合对传统的支护形式分析，为控制周边环境影 响，加快施工进度和降低围护成本，考虑项目特点后，一层地下室采用排桩+预打式斜支撑桩的支护形式可满足以上要求。

### 3.2 支撑方案

本工程一层地下室区域大面积采用排桩+预打式斜支撑桩的支护形式，排桩采用HC工法桩（H型钢和拉森钢板桩锁扣连接），预打式斜支撑桩采用钢格构作为受力材料，基坑角部位置增设混凝土支撑，因地勘提供的③粘质粉土夹淤泥质粉质粘土渗透系数较高，坑内设置筒易降水井进行控制性降水。一层地下室的支护剖面形式详见附图1。

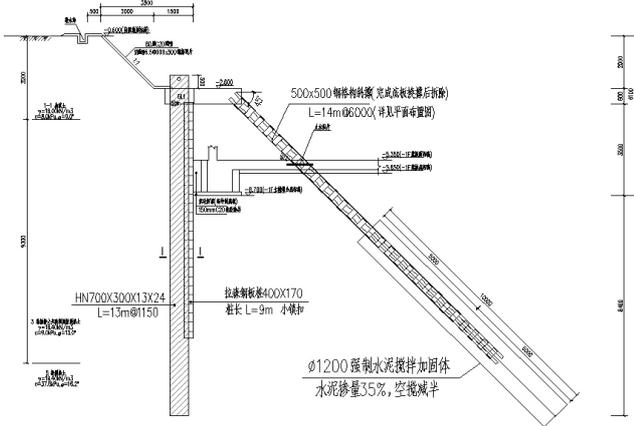


图1 HC工法桩+预打式斜向支撑桩

### 3.3 预打式斜支撑桩施工参数和节点

预打式斜支撑桩主要有，钢格构、基底以下加固体及排桩连接三部分组成。钢格构尺寸为500x500，角钢总长度为14m，尺寸为100x10，缀板尺寸为450x200x8，间距为500mm，使用钢材均为Q235B。角钢焊接接头采用剖口对焊，各接头错开500mm，角钢和缀板围焊焊接工艺，焊缝高度为8mm，焊缝等级为三级。各段钢格构端板为12mm钢板，中间预留150mm孔洞（旋喷桩施工时钻杆预留），各段钢格构采用M24×75螺栓连接，螺栓等级10.9，钢格构与地下室底板连接处设置止水钢板，基底以下加固体为直径1200mm的旋喷体，采用P.O 42.5水泥，水泥掺量为36%，水灰比为0.5~0.7。钢格构与排桩的连接采用加强墩进行连接，冠梁出外挑1200mm梁，格构端部伸入梁内部不小于600mm，格构端部伸入梁内具体做法详见图2。

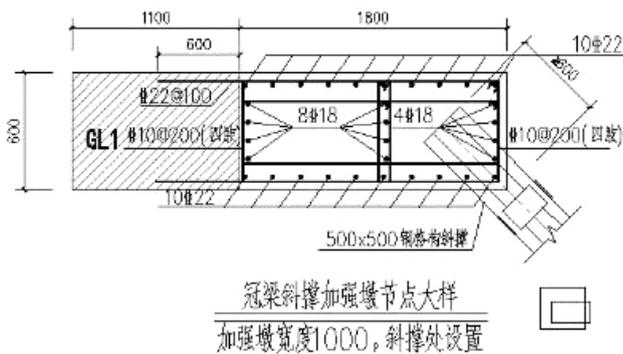


图2 预打式斜支撑桩节点做法

### 3.4 预打式斜支撑桩施工工艺

预打式斜支撑桩基底以下的加固体、钢格构和支护桩三部分组成。预打式斜支撑桩基底以下的加固体主要是以强制搅拌和旋喷工艺两种施工工艺，本项目采用旋喷工艺，加固体的具体施工流程如下：施工准备→土方开挖→测量定位/标高控制/复核→定向旋喷桩机施工至基底→格

构柱焊接并采用机械将格构柱推进至设计标高→旋喷桩机二次施工扩大加固体→回收钻杆→下一根桩施工。

## 4 理论计算和监测情况

本工程剖面形式的理论计算采用启明星深基坑设计计算软件和Plaxis岩土有限元进行分析，实际施工过程中，根据钢格构的轴力监测反应进行起受力情况<sup>[3]</sup>。

### 4.1 启明星剖面计算

剖面计算采用同济启明星对HC工法桩+一道预打式斜向支撑桩进行模拟，计算考虑冠梁刚度，冠梁截面为1200mm×600mm，冠梁砼等级为C30，冠梁的平面计算长度按50m考虑，对应等效刚度为2.15MN/m<sup>2</sup>，钢格构的刚度取值为2.5MN/m，计算结果最大的水平位移为38.0mm，具体计算结果见图3。

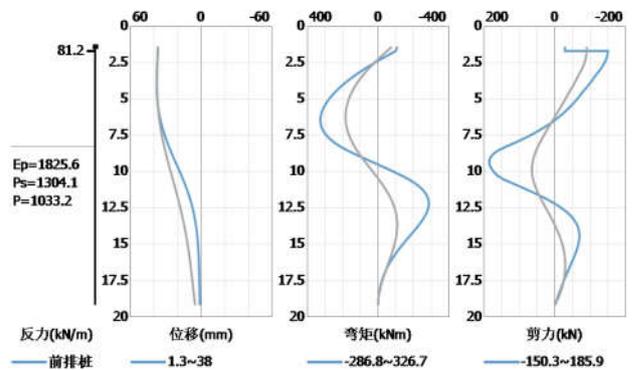


图3 同济启明星软件剖面计算结果

### 4.2 预打式斜向支撑桩承载力计算

预打式斜向支撑桩基底以下的加固体直径为1200mm的圆柱状旋喷体，预打式斜向支撑单桩的极限承载力计算按桩基技术规范中的桩基承载力计算公式进行复核，具体计算公式如下：

$$Q_{uk} = u \sum q_{sik} l_i + \alpha p_{sk} A_p$$

式中：

$u$ ——桩身周长；

$q_{sik}$ ——用静力触探比贯入阻力值估算的桩周第*i*层土的极限侧阻力；

$l_i$ ——桩周第*i*层土的厚度；

$\alpha$ ——桩端阻力修正系数；

$p_{sk}$ ——桩端附件的静力触探比贯入阻力标准值（平均值）；

$A_p$ ——桩端面积；

$$Q_{uk} = u \sum q_{sik} l_i + \alpha p_{sk} A_p \approx 1208 \text{ kN}$$

预打式斜向支撑单桩的承载力特征值  $R_a = 0.5 Q_{uk} = 604 \text{ kN}$ 。

### 4.3 预打式斜向支撑桩Plaxis岩土有限元分析

采用Plaxis软件建立二维有限元小应变模型进行模拟分析土体和桩身变形,本工程开挖范围内的土层主要为粘质粉土夹淤泥质粉质粘土,实际的渗透系数交底,计算模型考虑不排水,以下图4为计算结果。



图4 Plaxis岩土有限元围护结构总位移云图

根据Plaxis软件分析,桩身的水平位移为43.49mm,坡顶沉降为39.20mm。

### 4.4 实际施工的监测数据

根据现场施工情况,基坑外不降水,坑内开挖至基底后,采用简易深井疏干。土方开挖至基底以后得监测数据如下:土体测斜数据最大累计值为39mm,单日的增量和累计值均未达到报警值。监测结果满足基坑监测规范要求 and 设计要求。在本工程中表明预打式斜向支撑桩在本工程中的应用,既保证了基坑安全,也控制了基坑对周边环境的影响。

理论数据和实际工程数据分析对比后,同时结合启明星剖面计算,Plaxis二维模拟和实际工程数据中的深层土体变形趋势和变形数值较为相近。说明了预打式斜向支撑桩在软土地层中的应用较为可靠,且相关计算软件可以验证预打式斜向支撑桩的可靠性。

### 5 预打式斜向支撑桩存在的问题

(1) 预打式斜向支撑桩施工时,基坑边到用地红线

间若空间较小,相关机械的工作作业面较小,施工会相对较困难,施工速度会较慢。(2) 预打式斜向支撑桩的角度多为固定,现有的机械设备对于角度控制的要求较难把控,角度变化可能会造成支撑桩与设计不符。

(3) 预打式斜向支撑桩基底以下的加固体多为水泥土加固,设计的直径要求一般为1200~1500mm,对于加固体的直径和强度检测较难实现。(4) 若遇到地层较复杂的项目,预打式斜向支撑桩的长度是否可以打到设计位置,有待考究;

(5) 预打式斜向支撑桩承载力与施工质量相关,设计设定的承载力,现场施工不一定满足要求。(6) 预打式斜向支撑桩桩顶与竖向支护连接的加强连接与现场施工相关,斜桩与竖向支护越靠近,受力越好。

### 结论

在软土基坑施工中,一层地下室基底以下若有较好土层,可采用预打式斜向支撑桩,桩底进入好土层,基坑位移变形总体正常,未出现位移报警,能保证基坑的整体安全。

从理论计算、常规的岩土计算软件及有限元模拟结果分析来看,预打式斜向支撑桩的承载力较低,在一层地下室基坑围护施工中相对较适用,在二层地下室及更深的软土基坑中,传统的预打式斜向支撑桩的使用可靠性待考究,需要实际工程案例吃撑。

预打式斜向支撑桩的发展相对较快,从机械设备、材料及施工工艺上可进行发展研究,作为基坑支护工程中可靠的支撑结构,节约工程造价及施工时间。

### 参考文献

[1]王思钰,周海祚,郑刚,等.基坑倾斜桩支护的变形数值分析[J].岩土工程学报,2019,41(S1):73-76.  
 [2]曹笑攀.排桩加斜抛撑支护体系在深基坑中的应用[J].土木工程与管理学报,2013,30(1):39-44.  
 [3]林国威,左人宇,陆钊,等.斜抛撑在基坑支护中控制土体应力与结构受力特点研究[J].土工基础,2015,29(4):13-18.