

# Application of Front Support Compression Grouting Steel Pipe Piles in Deep Foundation Pit Support—Taking a Deep Foundation Pit Project as an Example

Quanzhong Sun

China Geological Engineering Shanghai Co., Ltd., Shanghai, 200000, China

## Abstract

With the rapid development of the construction industry, more and more new construction techniques have been applied to engineering construction, and have achieved better results, and the front support compression grouting steel pipe pile is a kind of obvious advantage new foundation pit support technology. In view of this, this paper takes a deep foundation pit project as an example to explain in detail the application process and method of the front support compression grouting steel pipe pile in deep foundation pit support.

## Keywords

front support compressive grouting steel pipe support; engineering construction; deep foundation pit support

# 前撑式抗压注浆钢管桩在深基坑支护中的应用——以某深基坑项目为例

孙全忠

中国地质工程上海有限公司, 中国·上海 200000

## 摘要

随着建筑行业的快速发展,越来越多的新型施工技术被应用于工程建设中,并取得了较好的效果,而前撑式抗压注浆钢管桩就是一种具有明显优势的新型基坑支护技术。鉴于此,论文就以某深基坑项目为例,针对深基坑支护中前撑式抗压注浆钢管桩的应用流程以及方法进行了详细的说明。

## 关键词

前撑抗压注浆钢管支撑; 工程施工; 深基坑支护

## 1 引言

注浆钢管桩是利用钢构件来进行基坑围护,取代传统的钢筋混凝土结构,具有明显的施工优势。注浆钢管桩为直立开挖,不需要进行支撑,所以很大程度地加快了施工进度,并节省了施工材料。同时,施工操作简单,造价成本低,工程结束后部分钢管还可回收二次利用,所以具有较好的环保效果。下面论文就以笔者曾参与过的深基坑项目为切入点,就前撑式抗压注浆钢管桩的应用要点进行论述与说明。

## 2 项目概况

### 2.1 基坑概况

本工程拟建5幢32层~34层住宅,场地设二层地下

车库。地下车库基坑周长757m,开挖面积34000m<sup>2</sup>。本工程±0.000相当于绝对标高+2.850m。场地整平绝对标高+2.400m,即相对标高-0.450m。基坑普遍开挖深度为7.25~7.55m,电梯井、集水井落深1.4~2.4m。

### 2.2 基坑周边环境概况

#### 2.2.1 基坑东侧

基坑边线距离该侧用地红线最近约10.8m,该侧围墙与燃气管线均在红线以内,围墙距离基坑边线最近约7.2m,燃气管线距离基坑边线最近约6.2m,燃气管分为两根管线,中压管埋深约1.3~1.7m,高压管埋深约1.7~1.9m(见图1)。

#### 2.2.2 基坑南侧

基坑边线距离该侧用地红线约24.7m,该侧围墙在红线以内,基坑边线距离围墙最近约10.3m,红线外7.0m为16.2m宽同丰东路。围墙至道路间地下分布有给水、雨污水等管线,另有高压线架空沿围墙分布(见图2)。

【作者简介】孙全忠(1987-),男,中国山东阳谷人,本科,工程师,从事工程施工的过程管理研究。



图 1 基坑东侧（太湖路）



图 2 基坑南侧（同丰东路）

### 2.2.3 基坑北侧

基坑开挖底边线距离用地红线最近为 15.8m，用地红线外 58.4m 为晨曦小学，基坑开挖底边线北侧 11.4m 为市政给水（DN200）埋深 1.0m，基坑开挖底边线北侧 12.4m 为市政给水（DN200）埋深 1.0m，基坑开挖底边线北侧 12.8m 为电力管道埋深 0.5m，基坑开挖底边线北侧 14.3m 为现场围墙（见图 3）。



图 3 基坑北侧（晨曦小学）

### 2.2.4 基坑西侧

基坑开挖底边线距离围墙最近为 4.0m，围墙下起往西设有众多一期管线：高压电缆、消防管线、上水管线、污水管线、雨水管线，低压燃气 DE110，埋深 0.8m，高压喷淋（DN200），埋深 1.0m，高压消防（DN150）埋深 1.0m，市政给水（DN300），埋深 1.0m，强电管线埋深 1.1m。基坑开挖底边线外 4.0m 为已建一期小区内部道路（宽 6.0m），

基坑开挖底边线外 15.7m 为 1 栋 18F 已建民房。

## 2.3 工程地质及水文地质条件

根据本工程勘察资料可知，该场地属亚热带季风气候区，场地所在区域地貌类型为长江三角洲南缘的冲、湖积平原上，地势平坦<sup>[1]</sup>。工程基坑开挖影响深度范围内以粘性土为主（见表 1）。

表 1 基坑影响范围内土层情况

土层编号	土层名称	天然重度 $\gamma$ ( $\text{kN/m}^3$ )	抗剪强度(固快)		渗透系数建议值
			$c$ (kPa)	$\phi$ ( $^\circ$ )	$K$ (cm/s)
②	粉质粘土	18.3	15	13.0	$9.0 \times 10^{-6}$
③	粉质粘土夹粉土	17.9	12	12.0	$7.0 \times 10^{-6}$
④	淤泥质粉质粘土	17.3	10	10.0	$7.0 \times 10^{-6}$
⑤-1	粉砂夹粉质粘土	18.3	2.5	30.8	$5.0 \times 10^{-3}$

本项目岩土工程勘察报告，潜水主要赋存于浅部层①杂填土及层②粉质粘土中，主要接受大气降水的垂直补给及地表水体侧渗补给，以自然蒸发为主要排泄途径，水位随季节性变化明显，水位随季节性变化明显，勘察期间在钻孔中观测了场地内潜水初见水位埋深 0.50 ~ 1.50m，稳定水位埋深 0.8 ~ 2.24m。

本场地最浅承压含水层为⑤层粉砂夹粉质粘土中的粉砂层、层⑥、层⑦、层⑧-1、层⑨粉砂层中，承压水水位初见埋深 19.5~20.2m，初见水位标高 -16.95~-17.30；稳定水位埋深 1.47~1.84m。本项目基坑普遍区域承压水无突涌可能，局部深坑区域存在突涌可能。故局部深坑区域采取设置承压降水井等措施。

## 2.4 不良地质条件

本项目主要不良地质条件为浅层杂填土及建筑垃圾、浜填土。根据本工程岩土工程勘察报告，场地浅部埋有大量混凝土块、碎砖石等建筑垃圾，粒径最大可达 1.0m，南侧原施工工棚拆除后遗留大量建筑垃圾，表层分布水泥地坪，厚约 10~15cm。场地原分布两水塘，平整过程中已被回填，回填土夹有大量碎石等建筑垃圾<sup>[2]</sup>。

## 3 工程基坑围护方案的选型

本工程的基坑面积为 34000m<sup>2</sup>，面积较大，周边环境涉及学校、市政管线等，开挖时要注意对相关管线进行保护，并且软弱的粘性土是主要的地基土类型，硬度差，支撑效果不理想，故而在开挖的过程中还需要采用合理的围护挡土方案。下面就将对基坑围护方案的具体选型方案进行说明。

### 3.1 围护方案选型

基坑支护的施工建设不是孤立存在的，而是一个系统的工程，需要考虑诸多方面的内容。围护结构一方面关系着工程周边建筑的安全性，另一方面也关系着地下室施工以

及土方开挖的成本,所以必须要综合考虑施工操作、工期进度以及受力等要点。

通常,本工程所在地的类似地质条件、规模、难度的工程,多是采用钻孔灌注桩+支撑、土钉墙支撑以及SMW工法支撑等施工技术,具体优缺点与对本次基坑工程的适应性如表2所示。

表2 各类围护方案的优缺点及对本工程的适用性

项目	主要优点	主要缺点	本工程适用性
SMW工法+支撑(锚)	1、施工工艺成熟,已有大量成功案例; 2、具有止水与挡土双重效果,如地下室施工总工期小于半年,围护造价较常规钻孔灌注桩方案经济; 3、型钢可回收重复利用; 4、施工进度较快。	1、有内支撑,土方开挖相对不方便; 2、围护造价与工期有关,如施工进度慢,围护租赁费增加,方案不经济; 3、型钢拔除工况对周边环境有一定影响。	不采用
钻孔灌注桩+支撑	施工工艺成熟,已有大量成功案例;桩径可选择性多,桩长可调节;对周边环境影响小,抗侧刚度大,对控制基坑变形有利。	造价高,有内支撑,土方开挖相对不方便;本身起不到止水作用;泥浆排放污染环境;施工进度慢。	采用
放坡+土钉	1、造价经济; 2、无内支撑,土方施工操作面大;方便土方开挖; 3、施工进度快,工期较短。	1、占用较多内部场地; 2、土钉对后期桩基施工有一定影响; 3、变形不容易控制。	局部采用放坡的围护形式

### 3.2 支撑体系选型

对于平面布置与支撑体系的选型而言,一方面要注意保护好周边环境,另一方面还要能够方便土方开挖以及保障施工工期,要在保证工程建设质量的基础上尽可能地缩短工程,从而减少工程的成本支出,提高工程的经济效益。

### 3.3 材料类型的选择

根据材料类型的不同,钢筋混凝土支撑与钢(型钢、钢管)支撑是基坑工程建设中最为常用的两种水平支撑方式。

①钢支撑的优点主要表现在通过施加预应力可以对基坑的变形问题进行切实的把控,并且施工速度快,无论是安装还是拆除都更为简便,可以节省更多的材料。但缺点也同样较为明显,如纵横杆件间的连接为铰接状态,难以形成整体刚接,如此一来就导致基坑支撑系统的整体刚度难以达到工程要求,刚度较弱,所以对于一些不规则形状基坑、或是平面跨度大的基坑不会采用钢支撑的形式。

此外,钢支撑会受限于截面尺寸,结构强度以及支撑刚度都并不是非常理想,所以如果基坑的单道支撑分担的侧向土压力高度较大,或是开挖深度较深时,钢支撑的支撑压杆稳定性以及位移控制都无法达到工程的预期要求<sup>[3]</sup>。

②与钢支撑相比,钢筋混凝土支撑结构的整体刚度更大,可以对基坑变形问题进行有效控制,并且钢筋混凝土支撑可以现场浇筑,可靠性好,对于不规则形状基坑的变形问题具有较好的控制效果。

因为本工程基坑的面积为34000m<sup>2</sup>,东西距离与南北距离基本都在200m左右,面积较大,所以从施工成本、施工操作的难易程度或是杆件受力等方面进行分析,工程本工程

并不适合采用水平支撑的形式。

鉴于建设单位的时间要求,基坑南侧11#、13#的工期时间相对较为紧张,故而就需要进行分期施工,并且还要运用施工效率高、施工便利的技术。因为斜抛撑支撑需要进行基础底板的浇筑,且要两次挖土,所以整体所耗时间较长,后续的土方开挖难度也较大。同时,斜抛撑还涉及拆除作业,所以对于工期较为紧张的本次工程来说并不是特别适用。

另外,因为斜抛撑支撑需要进行架立,且在此之前周边土体位移体量也较大,但如前文所述,本工程施工环境的周边有诸多的市政管线,所以此种对环境影响较大的施工方式并不能切实的保障管线不受影响,尤其是基坑东侧还有高压燃气管,所以斜抛撑支撑的方式从整体上来说并没有足够的优势。

经过详细的分析与多种施工方案的对比,最终决定在工程施工中采用前撑式抗压注浆钢管工艺。该施工工艺无论是从工期、成本还是操作难度上,都具有明显的优势。同时,注浆钢管支撑与围护桩可以同步施工,即便后期需要再次挖土,也可以确保坑内大面积土方整体开挖的安全性及便利性,另外,相较于常规支撑工艺技术,前撑式抗压注浆钢管工艺的施工时间也相对较短,在本工程中,至少可以将工期缩短50天。

综合以上分析,本次基坑工程的围护体系选型确定为:普遍区域采用钻孔灌注桩+前撑式抗压注浆钢管桩的围护形式,基坑角部采用钻孔灌注桩+一道钢筋混凝土水平支撑的围护形式。该支护方案已在本项目成功实践,主要围护体系钻孔灌注桩门架+前撑式注浆钢管斜撑典型剖面及现场施工实体如图4所示。

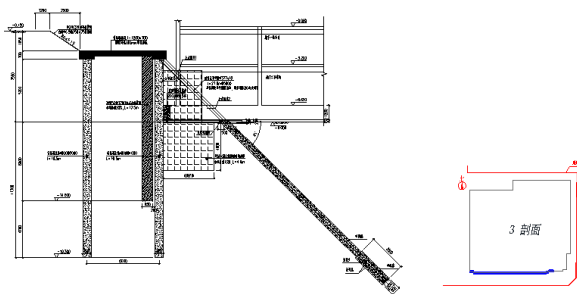


图4 典型剖面及现场施工实体图

## 4 前撑式注浆钢管桩的施工要点分析

### 4.1 施工流程

场地平整→沟槽开挖→桩位测放→钢管管体加工→钢管管体打设→钢管注浆→碎石填充→钢管与圈梁连接处内置锚定板制作→施工完成。

### 4.2 工程的技术要求

①确保以下参数满足工程的建设要求:如钢管注浆孔数量、开孔直径、开孔相对位置、倒刺的加工与焊接、短钢



筋焊接等。具体的施工操作中，施工人员一定要按照工程的设计图纸进行规范的操作。

②鉴于工程的周边环境的复杂性、土质条件以及施工工艺，要将抗压注浆钢管桩水平倾角控制在  $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。

③运用气囊注浆装置来进行钢管的注浆，采用双气囊分段注浆来进行往上注浆段，而在底端，则要采用单气囊注浆的方式。

④控制水泥浆液水灰比为 0.55，以最终注浆压力和单根桩水泥用量作为注浆最终完成效果的标准：最终注浆压力不得小于 1.5MPa，单根桩水泥用量也必须要满足工程设计吨数的要求。

⑤在确保相应区域梁板以及可靠换撑形成，并且达到设计强度的 80% 后，可以开始进行注浆钢管的拆除。

⑥前撑式抗压注浆钢管桩施工中还要注意避开结构柱、结构梁、工程桩以及局部深坑等。

### 4.3 施工要点

#### 4.3.1 沟槽开挖

在结束围护桩作业后，施工人员要立即清理桩头以及桩顶的浮浆，并做好圈梁的挖槽及清槽。同时，为保证施工的安全顺利推进，还要将地下障碍物予以清理，要将其挖至为原状土，如此就可以最大程度地规避塌方事故，避免影响钢管的放置。

#### 4.3.2 加工钢管

本工程钢管注浆桩杆体所采用的钢管为  $\Phi 377 \times 10\text{mm}$ ，施工时要保障钢管表面没有锈斑或是油污。在下料的过程中，施工人员要严格按照工程的设计要求进行操作，要将下料长度误差控制在 50mm 内；运用  $400 \times 10\text{mm}$  的套管来对注浆钢管加以连接，控制套管长度在 200mm。

此外，施工人员要将注浆孔以梅花形布设于钢管的端部，每个孔外还要设置倒刺，孔的直径应控制在 8~10mm。倒刺要用角铁，并与钢管焊接连接，最后在借助一些封闭手段，确保出浆孔能够发挥其自身的作用<sup>[4]</sup>。

#### 4.3.3 打入钢管

钢管的打入如图 5 所示。

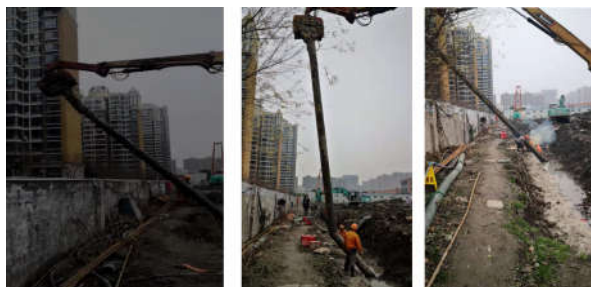


图 5 钢管的打入

#### 4.3.4 孔底注浆

确定钢管沉放到设计要求的位置后，用 20-40mm 级配碎石将钢管填满，之后便可开始进行跟踪注浆。注浆共三次，控制第一次的注浆量在设计要求的 60%，第二次与第三次则为 20%，每次注浆的间隔时间要控制在 1.5~2.5 小时，钢管内用纯水泥浆填满<sup>[5]</sup>。

#### 4.3.5 检测桩的承载力

本工程共计 75 根前撑钢管桩，抽取其中 3 根进行静载荷试验，并最终确定单桩承载力可以满足工程的建设要求。

#### 4.3.6 监测

目前现场 11 号楼区域已施工至地上一层，以 11 号楼基坑南侧中部最具有代表性的 Q28 水平位移监测点和 P15 深层位移监测点为例进行解读，在基坑开挖期间基坑位移的变化情况。11 号楼区域基坑于 2020 年 4 月 3 日开始开挖，2020 年 4 月 16 日垫层相继开始施工，5 月 20 日整个 11 号楼区域底板浇筑完成。

## 5 工程总结

通过监测可以发现，目前工程的各项指标均在设计要求内，钻孔灌注桩门架+前撑式注浆钢管支撑的方式是非常适用于本工程的。笔者通过施工的实践参与，现就工程经验总结如下：

①因为基坑支护方案的选型受工程开发顺序的影响较大，所以在设计阶段就要立足于工程实际，统筹考量多方面的内容，并就不同的施工方案进行对比，以此优选出最合适工程建设且经济效益、社会效益最为突出的方案。

②与常规内撑方案相比，前撑式注浆钢管支撑体系在施工速度、成本以及操作的便利性等方面都具有突出的优势。虽然现阶段该技术仍为专利技术，但相信在后期的大范围推广中，其议价空间还会更大，成本方面的优势能够得到进一步的凸显。

③因为基坑开挖的顺序与方法与支护结构的稳定性、可靠性紧密相关，所以在实际操作中，一定要依据工程的设计方案进行规范化的落实，如果施工中存在变动，则要立即加以调整，从而最大程度地保证工程的施工安全。

### 参考文献

- [1] 陆秋平,周吉,陆陈华.前撑式注浆钢管桩在砂质粉土层中的应用[J].建筑施工,2019(10):1792-1794.
- [2] 刘恋,吕文龙,彭立顺.钢管连接方式对钻孔注浆钢管桩轴压承载性能影响的试验研究[J].华南地震,2020(1):45-46.
- [3] 张荣文.前撑式抗压注浆钢管支撑在基坑支护中的应用[J].建筑科技,2019(3):128-130.
- [4] 唐咸远,邹凯,梁静远.基于抗弯试验的注浆微型钢管桩影响因素数值分析[J].混凝土,2019,353(3):24-27.
- [5] 董林兵.前撑注浆钢管桩在大面积深基坑工程中的应用[J].建筑施工,2020(7):35.