

高压旋喷加劲水泥土桩锚支护技术的应用与探讨

杜常春¹, 罗细华¹, 周涛¹, 段钧培²

(1. 浙江省工程勘察院, 浙江 宁波 315012; 2. 郑州大学力学与工程科学学院, 河南 郑州 450001)

摘要: 高压旋喷加劲水泥土桩锚是一种新型的、先进的岩土加固与支护技术。结合 2 个围护桩(SMW 工法桩或组合排桩) + 高压旋喷加劲水泥土桩锚支护体系在软土深基坑中应用的工程实例, 阐明了高压旋喷加劲水泥土桩锚支护技术具有经济性好、施工方便、适应性强等优点, 具有较好的综合效益, 同时也指出在深厚软土中存在的问题。

关键词: 深基坑支护; 软土地基; 高压旋喷加劲水泥土桩锚; 围护桩

中图分类号: TU472.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672 - 7428(2015)03 - 0056 - 05

Application and Discussion of High Pressure Jet Grouting Reinforced Cement-soil Pile Anchor Support Technology in Soft-clay Deep Foundation Pit Enclosure/ DU Chang-chun¹, LUO Xi-hua¹, ZHOU Tao¹, DUAN Jun-pe² (Zhejiang Engineering Investigation Institute, Ningbo Zhejiang 315012, China; 2. School of Material Science and Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou Henan 450001, China)

Abstract: High pressure jet grouting reinforced cement-soil pile anchor is a new advanced geotechnical reinforcement and support technology. In this paper, combined with 2 engineering cases of retaining pile (SMW or composite piles in row) + high pressure jet grouting reinforced cement pile anchor support technology, it is illustrated that the high pressure jet grouting reinforced cement-soil pile anchor support technology has the advantages of good economic performance, convenient construction and good adaptability with good comprehensive benefits, and the problems of construction in deep soft-clay soil are also pointed out.

Key words: deep foundation pit support; soft-clay foundation; high pressure jet grouting reinforced cement-soil pile anchor; retaining pile

0 引言

20 世纪 90 年代以来, 高层建筑如雨后春笋般迅速发展, 为充分利用地下空间、同时满足高层建筑物的稳定性要求, 涌现了大量的深基坑项目。深大基坑项目主要位于我国沿海、沿江等经济发达的城市中, 场地浅部分布有厚度不一、含水量高、性质差、灵敏度高的软土。根据工程特点, 选择一种安全可靠、技术可行、经济合理、施工方便的基坑围护方式, 符合当今节约资源、提高经济效益、可持续发展的科学发展观。根据地质条件、周边环境的各异以及地区经验, 深基坑支护技术也不尽相同, 对基坑围护设计及施工要求也越来越高, 这促进了基坑支护和施工技术的更新、进步与发展, 各种深基坑的支护技术也日渐完善^[1-2]。

高压旋喷加劲水泥土桩锚^[3-4]是利用单管法高压旋喷注浆技术与锚索相结合的一种新型受拉锚固结构。通过高压旋喷搅拌方法在土层中形成水平、

倾斜或垂直的变径水泥土桩体, 然后布设锚筋, 施加预应力后, 在被支护和加固的土体中形成支护与加固结构^[5-6]。

1 高压旋喷加劲水泥土桩锚的优越性

在深基坑的方案比选过程中, 综合环境条件、地质条件、技术及经济等诸方面因素, 竖向围护结构确定后, 为确保基坑壁稳定性及不产生过大变形而对周边环境产生不良影响, 围护体应有足够的强度与刚度并与支撑体系相结合, 支撑体系是承受围护结构所传递的土压力和水压力的结构体系, 与竖向围护结构共同为基坑施工提供一个可靠的结构空间, 主要有内支撑体系与土层拉锚体系。

内支撑体系具有形式复杂、经济性差、施工周期长、土方开挖施工不方便等缺点。土层拉锚式支护结构常见的是拉桩式支护结构即围护桩(SMW 工法桩^[7]或组合排桩) + 锚杆(索)的支护体系; 它的一

收稿日期: 2014 - 08 - 20

作者简介: 杜常春, 男, 汉族, 1974 年生, 高级工程师, 国家注册土木(岩土)工程师, 从事岩土工程勘察、设计及咨询工作, 浙江省嘉兴市越秀北路 112 号浙江省工程勘察院嘉兴分院(314001), 180839732@qq.com。

端通过冠梁或腰梁与围护桩联结,另一端通过锚固体锚固在土体中^[8]。由于软土具有性质差、高触变性、高流变性等特点,普通的锚杆锚固段不宜设置在软土中^[3]。根据高压旋喷注浆工艺技术与加固机理^[9],高压旋喷加劲水泥土桩锚可适用于软土深基坑的围护;目前,围护桩(SMW工法桩或组合排桩)+预应力高压旋喷加劲水泥土桩锚支护体系在江浙沪、深圳等地区深大软土基坑中应用较广,近年来随着扩孔技术、注浆技术、锚索回收技术等优化设计的推广,它的应用范围正进一步扩大,取得了较好的社会与经济效益。与传统岩土加固支护技术相比,高压旋喷加劲水泥土桩锚技术的优越性体现在以下4个方面^[10]:

(1)可主动有效地改善土体物理力学性能,克服常规锚索、锚杆与软土之间锚固力不足,以及由于塌孔而无法施工等缺点;

(2)可适用于不同的地质和场地条件,施工时有着较强的适应性,所需作业空间不大;

(3)用于深基坑支护时,相比传统内支撑方式而言,具有空间开阔、施工便利、安全性好等优点;

(4)相比传统内支撑支护技术,高压旋喷加劲水泥土桩锚可有效降低工程成本,节约工程造价20%~40%,缩短施工工期20%~50%。

2 工程实例一

2.1 工程概况

嘉兴海盐县武原镇一商务楼工程,拟建场地呈东西向矩形分布,长235.0 m左右,宽78.0 m左右。拟建建筑物包括:A楼6层建筑(分布于西侧,地下1层,开挖深度7.70 m),B楼18层建筑(分布于东侧,地下2层,开挖深度11.40 m)。场地东、西、北侧均为道路,道路下分布地下管线,埋深1.0 m左右;南侧为大片空地。

根据工程勘察结果,基坑开挖深度及影响范围内,地基土层分布较稳定,自上而下为:

- ①素填土,松散,厚度1.00 m左右;
 - ②层粉质粘土,软塑,厚度3.00 m左右;
 - ③₁粉土夹粉质粘土,松散—流塑,厚度3.30 m左右;
 - ③₂淤泥质粉质粘土,流塑,厚度4.20 m左右;
 - ⑤₁粉砂夹粉土,中密,厚度9.50 m左右。
- 场地地下潜水位稳定埋深在0.50~1.00 m,主

要分布于③₁层粉土层中;承压水位埋深在3.50 m左右,赋存于⑤₁层粉砂夹粉土层中,渗透系数 $k = 2.0 \times 10^{-4}$ cm/s左右。

2.2 基坑围护方案

根据本基坑工程的特点,西侧A楼为1层地下室,东侧为B楼为2层地下室,东、西、北场地较局促,用地红线外为道路;南侧很空旷,具有大放坡开挖条件。根据场地工程地质及水文地质条件,地基土层交错分布透水性较好的粉土层、粉砂层以及软土层,围护结构不仅要解决基坑边坡稳定性的问题,也应解决地下水的问题,特别是⑤₁层粉砂夹粉土承压含水层。

根据基坑开挖深度、场地周边环境条件及工程地质水文地质条件,从技术、经济、施工等方面进行分析对比,确定基坑围护方案如下:对于1层地下室基坑西侧、北侧边坡段采用SMW工法桩+1道高压旋喷加劲水泥土桩锚的围护方式,南侧边坡段采用天然放坡+1排双轴水泥搅拌桩隔水的围护方式;对于2层地下室基坑北侧、东侧边坡段采用SMW工法桩+3道高压旋喷加劲水泥土桩锚的围护方式,南侧边坡采用二级放坡(坡中设置双轴水泥搅拌桩隔上部③₁层中地下潜水)+组合排桩(三轴水泥搅拌桩+钻孔灌注桩)+1道高压旋喷加劲水泥土桩锚的围护方式(三轴水泥搅拌桩隔⑤₁层承压水);对于1、2层地下室高低差边坡段采用组合排桩(三轴水泥搅拌桩+钻孔灌注桩)的围护方式。在2层地下室坑内设置疏干管井(四周设置有落底式三轴水泥搅拌桩隔水帷幕),在坑外坡顶附近设置降水管井。本基坑工程2层地下室的北侧、东侧边坡是本基坑工程围护的重点,其围护剖面见图1。

2.3 基坑开挖及效果

(1)在高压旋喷加劲水泥土桩锚的施工过程中,根据设计及规范要求对每根桩锚进行张拉、锁定控制,保证了桩锚锚固体的可靠性;本基坑工程于2013年2月破土开挖至2013年7月基坑回填,历时5个多月,经历了暴雨天气的考验,总体上基坑边坡是安全、稳定的。在B区2层地下室北侧、东侧,由坑外管井降水及桩锚施工引起的水土流失,坡顶地面及道路有沉降与开裂现象,在桩锚施工完毕、坑外停止降水后,趋于稳定。

(2)局部型钢间距偏差较大的边坡段,基坑中下部水泥土存在质量缺陷的地方,由于水土压力相对

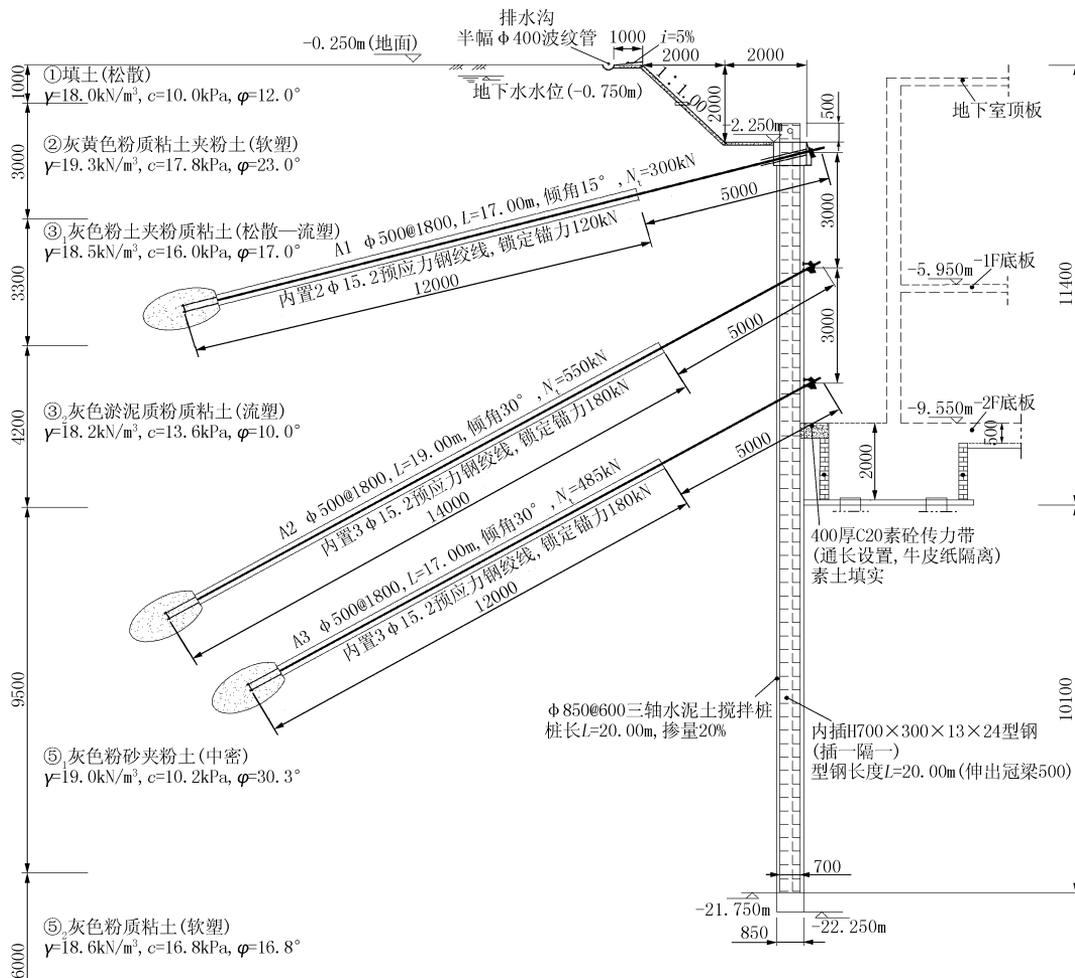


图1 海盐商务楼项目北侧、东侧2层地下室基坑边坡围护剖面图

较大,型钢间的水泥土难以满足局部受剪承载力的要求,而掉块及少量渗水,经过在两相邻H型钢的翼板之间用小方木条或钢管支挡,再用双液注浆加固(水玻璃+水泥浆),取得较好效果。

(3)根据监测单位的监测数据,基坑坡顶最大累计沉降40mm左右,最大累计水平位移45mm左右,各项基坑监测数据基本满足设计及规范要求,总体上本基坑围护取得了良好的支护效果及较好的经济效益。

3 工程实例二

3.1 工程概况

嘉兴平湖县城关镇一住宅小区项目,拟建场地呈近似矩形分布,场地四周均为道路。拟建建筑物主要包括:分布于四周的临街商铺(设置地下室1层),多幢高层建筑(设置地下室2层)及2层地下车库。总用地面积26955.0m²,地下室建筑面积

35480.0m²。四周1层地下室底板开挖深度3.50m左右,2层地下室承台底开挖深度9.10m左右。

根据工程勘察结果,场地内分布一条古河道,土层分布变化较大。基坑开挖深度及影响范围内,主要地基土的组成自上而下为:

- ①素填土,松散,层厚1.50m左右;
- ②粉质粘土,软塑,层厚1.40m左右;
- ③淤泥质粉质粘土,流塑,一般地段厚度3.5~4.0m,古河道内厚度10.0~12.0m;
- ④₁粘土,硬—可塑,层厚3.50m左右,古河道内缺失;

④₂粉质粘土,可—软塑,层厚7.50m左右,古河道内厚度变小。

场地地下潜水位稳定埋深在0.80~1.20m左右,各地基土层渗透性均较低,为不透水层。

3.2 基坑围护方案

通过方案比选,最终确定基坑围护方案如下:对

于周边 1 层地下室基坑边坡(上部边坡)统一采用双轴水泥搅拌桩重力式挡墙围护,底部按实际留置平台;2 层地下室基坑边坡(下部边坡)根据场地③层淤泥质粉质粘土的厚度情况,分段采用组合排桩

(双轴水泥搅拌桩 + 钻孔灌注桩) + 1 ~ 2 道预应力高压旋喷加劲水泥土桩锚的围护方案。根据场地环境及地质条件,本基坑工程分布在古河道内边坡围护是本工程设计重点,古河道内围护剖面见图 2。

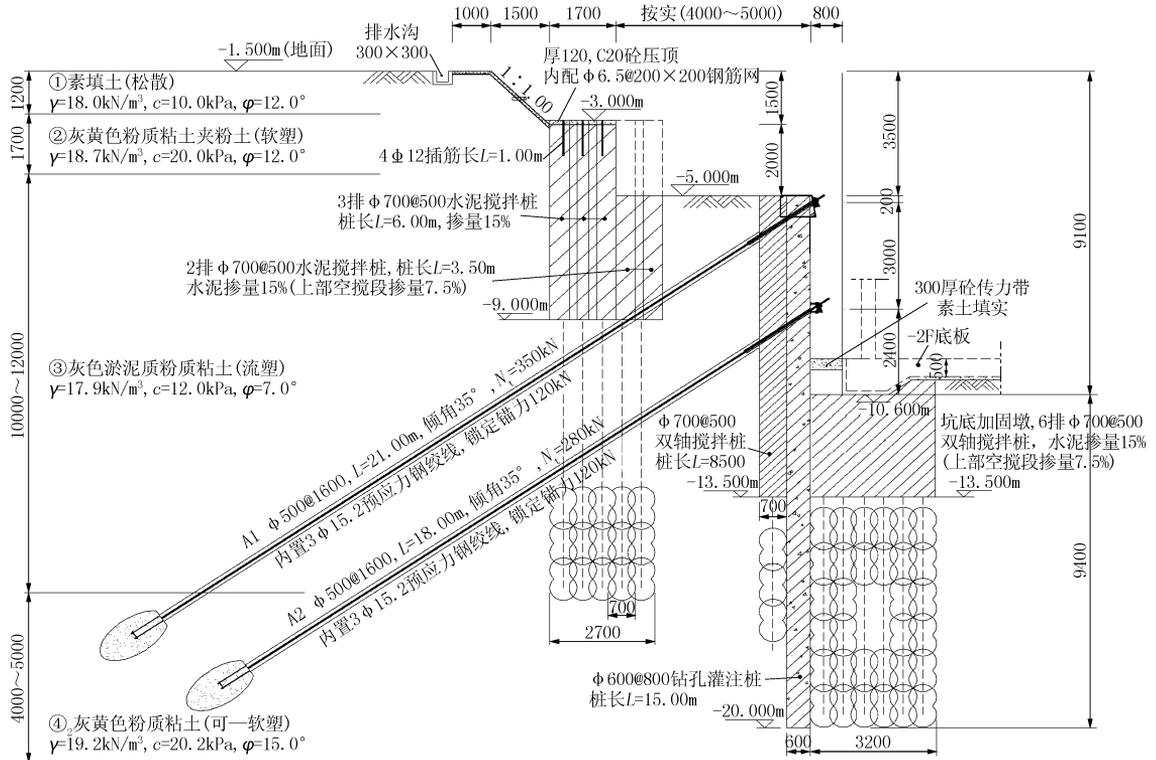


图 2 平湖住宅项目古河道内基坑支护剖面图

3.3 基坑开挖与处理

(1) 本基坑工程于 2013 年 2 月土方开挖,根据场地实际情况、底板后浇带设置的位置、围护结构的施工工况等因素采用分段、分区、分层开挖,当土方大面积开挖至第 1 道桩锚下 0.50 m 处,根据监测数据古河道内的边坡段坡顶水平位移达 35 mm 左右,坡顶分布有细小水平裂缝;其它边坡段水平位移在 10 mm 左右。当土方大面积开挖至第 2 道桩锚下 0.50 m 处,根据监测数据古河道内边坡段坡顶水平位移达 60 mm 左右,同时在距离基坑坡顶 5.0 m 左右道路上出现 10 mm 左右水平裂缝;其它边坡段水平位移在 20.0 mm 左右。介于此古河道内的剖面段基坑迅速回填处理,需经行必要的加固处理,方能继续开挖。

(2) 根据场地的地基土层及围护方案分析得出:古河道内边坡段,由于③层软土厚度大、性质差,上部搅拌桩重力式挡墙底也未进入性质较好的土层中,土方开挖至第 1 道桩锚位置处边坡变形就较大,

随着土方开挖的进行,基坑深度随之增加,另加地表水及地下水的作用下基坑边坡的潜在滑动面往深部推移,可能造成高压旋喷加劲水泥土桩锚固段大大减小,桩锚抗拔承载力可能难以承受边坡土压力的要求,而出现边坡水平位移很大,甚至失稳。

(3) 根据分析的结果,调整了后续土方开挖方案及必要的加固设计。对古河道内有主楼的边坡段分仓式先开挖,这样形成了长度较短的边坡段,边坡两侧土体形成支撑效应,有利于边坡稳定。浇筑主楼基础并养护至设计强度后,再开挖主楼两侧土体,在围护桩基坑内留置坡率为 1: 3.0 的三角土体,对地库部分基础底板留置施工缝,并间隔 8.4 m 左右(轴线间距)设置竖向型钢斜撑。如此实施下来,至 2013 年 9 月基坑土方全部回填完毕,从基坑监测数据及现场实际情况来看,基坑边坡变形得到了有效控制,基坑及周边道路是安全的。

4 分析与探讨

(1)实例一基坑开挖及影响范围内地基土层分布有粉土或粉砂土,该土层特别适合于高压旋喷加劲桩锚,施工质量稳定可靠,抗拔承载力高,在预应力或土压力作用下桩锚蠕变量也小,基坑边坡变形小;且坑底为性质较好的粉、砂土,基坑边坡潜在滑动面难以往深部发展,有效控制了基坑边坡的稳定性,取得了良好的技术与经济效果。

(2)实例二基坑开挖及影响范围内软土厚度大,该土层高压旋喷加劲水泥土桩锚施工质量可靠性相对较差,抗拔承载力不高,在预应力或土压力作用下桩锚蠕变量大,且坑底为厚度较大的软土,基坑边坡潜在滑动面较深,桩锚的实际锚固段往往小于设计长度,甚至在整个潜在滑动面内。基坑边坡变形很大,甚至失稳。

(3)在场地周边地下空间可行的情况下,围护桩(SMW工法桩或组合排桩)+高压旋喷加劲水泥土桩锚支护体系,不仅具有较好的经济效益,减少施工周期,同时对基坑土方开挖方案的灵活布置有很强的适应性,可为本地区同类深基坑工程设计提供借鉴。

(4)基坑工程作为地下工程,所处的地质条件复杂,影响因素众多,我们至今对岩土力学性质的了解还不够深入,很多设计计算的理论还不完善,建立在

半理论、半经验的基础上的。基坑围护施工过程中,加强安全监测,做到信息化施工,加强应急处理措施,做好动态设计工作,确保基坑及周边环境的安全。

参考文献:

- [1] 刘国彬,王卫东,等.基坑工程手册(第二版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2004.
- [2] 高大钊,陈忠汉,黄书秩,等.深基坑工程[M].北京:机械工业出版社,1999.
- [3] JGJ 120—2012,建筑基坑支护技术规程[S].
- [4] CECS 47:2004,加筋水泥土桩锚支护技术规程[S].
- [5] 刘全林,杨有莲.加筋水泥土斜锚桩基坑维护结构的稳定性分析及其应用[J].岩石力学与工程学报,2005,24(2):59-64.
- [6] 祝胜标,蒲梦江,王建江,等.高压旋喷注浆加劲水泥土桩技术在深基坑液化土地基工程中的应用[J].建筑施工,2010,32(7):637-639.
- [7] JGJT 199—2010,型钢水泥土搅拌墙技术规程[S].
- [8] 龚晓南.深基坑工程设计施工手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1997:336-337.
- [9] 林宗元.岩土工程治理手册[M].辽宁沈阳:辽宁科学技术出版社,1991:229-239.
- [10] 邓利明,姚颖康,等.高压旋喷加劲水泥土桩锚技术在深基坑工程中的应用[J].市政技术,2012,(1):17-20.
- [11] 蒙晓记,杨伟,王振福.复合土钉墙技术在陕西国土资源大厦深基坑工程中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(10):74-76.
- [12] 张习上,赵卫政,张迎堂.高压旋喷桩内插预应力钢筋混凝土方桩围护体系的设计与施工[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(6):61-64.