

有限空间深基坑支护设计与施工技术

唐卫雄 黄冬雷 高建忠

启东建筑集团有限公司

摘要:随着城市建筑群的不断拔起和土地的有效规划与充分利用,不少拟建的建筑物周边环境复杂,高楼林立,道路下管线复杂多样,因此如何确定深基坑的支护形式,既能经济合理又能满足周边环境的安全正考验着每一位设计与施工者的智慧。

关键词:设计理念;钻孔灌注桩施工;三轴搅拌桩施工;支撑梁施工;拆撑与换撑、基坑监测

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.02.072

一、工程概况与背景

启东城投商务楼工程位于启东汇龙镇民胜路和金沙江路交界处,民胜路以东,金沙江路以北。工程总建筑面积68949.33m²,地上建筑面积:43330.58m²,地下建筑面积25618.75m²,人防建筑面积:5561.56m²,地上十七层,地下二层。地上建筑分别为17层的办公主楼、11层的办公辅楼3层的裙房及2层公共门厅组成。地下二层局部为人防地下室。建筑高度70米。耐火等级一级,框架-抗震墙结构,安全等级二级,抗震设防烈度7度,设计使用年限50年。

二、周边环境分析

场地东侧:基坑东侧距红线约7.5m,距在建公安局大楼约50.0m;场地南侧:基坑南侧距红线约5.0m,距金沙江路路边约8.7m;场地西侧:基坑西侧距红线约5.0m,距民胜路路中心约26.5m;场地北侧:基坑北侧距红线约5.3m,距启东市公共卫生中心约39.5m;基坑周边管线主要分布:基坑南侧金沙江路,存在雨水管道、路灯电缆;基坑西侧民胜路,存在有路灯电缆、雨污水管线、南北向电缆等。

三、设计方案确立

本基坑呈长方形,东西向长约125m,南北向宽约110m,基坑支护周长约470m,开挖面积约13800m²,挖深10.7米。经设计专家组综合评估,最终确定基坑采用钻孔灌注桩挡土(桩径900@1200,桩长入土深度为30.70m)、外侧三轴搅拌桩止水帷幕(止水进入第8层淤泥质粉质黏土中、水平支撑为一道钢筋混凝土支撑(采用双圆环压力环支撑,支撑中心距离地面约3.3m、在南北两侧中心位置设置加强平台。支护体系坑中坑≤1500mm,采用1:1放坡开挖,50mm厚C20细石砼面层(内配Φ6@200*200);坑中坑≥1500mm,采用400*125长度6m的拉森钢板桩,基坑支护安全等级为一级。

四、施工技术控制

(一) 钻孔灌注桩施工

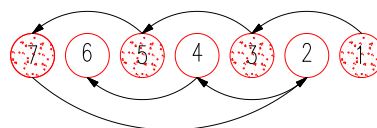
1、测量定位、建立现场轴线控制网

2、钻孔灌注桩的施工机械选择及施工顺序

根据设计要求和工程地质条件,结合类似地质条件工程施工经验以及机型的对比分析:钻孔灌注桩在本工程采用ZKQ-型潜水钻机,配置一机多工序专用机架

承担钻孔桩成孔,吊安钢筋笼,水下砼灌注等施工作业^[1]。

因排桩间距较小,为保证灌注桩的施工质量,施工时桩间距要不宜小于4d或间隔时间36小时,故施工过程中排桩采用跳打:1→3→5→7→2→4→6。具体施工顺序如下图:



排桩跳打方式

图1 排桩施工顺序

3、钻孔灌注桩的施工工艺及方法:

3.1钻机的安装与调试

1) 垫好方木,钻机安装水平、周正。

2) 钻杆垂直,不弯曲,所有钻杆应预先连结编号,检测钻杆直线度偏差,小于0.5%。

3) 机械设备、电器接线可靠、安全,严格检查验收。

3.2泥浆池布设、泥浆制作

1) 开挖循环池、沉淀池、泥浆池。

2) 搭设废浆排放设备、建立泥浆循环和排放系统。

3) 本工程采用原位钻孔制浆。

3.3钻进成孔

1) 钻头选用:主要选用笼式刮刀钻头,能满足工程需要。

2) 钻机就位:径向距离用钢尺控制,切向对中用吊锤法,检查滑轮吊点、重合箱、钻杆与桩位中点是否成一线,控制垂直度偏差<0.5%。

3) 孔径控制:控制成孔直径满足设计要求。

4) 垂直度控制:由机架水平度与钻杆垂直度控制成孔垂直度,机架水平度用水平尺或水准仪测量;钻杆垂直度用垂球法或经纬仪观测^[2]。

5) 开孔选用优质泥浆,根据地层变化,在钻进过程中调整泥浆指标。

6) 开孔时,要轻压慢转,待穿过自然地面1.5m以下后,随土层变化采用不同的钻进参数,随时检查调整开孔的垂直度(特别在软硬土层交界处)。

7) 钻到设计深度后,提杆至离孔底50cm处进行一次清孔,报监理验收,填写终孔验收单,做好隐蔽工程施工记录。

3.4安放导管

安装制作且经监理验收通过后的钢筋笼与格构柱至

正确位置后安放导管，本工程采用导管水下灌注工艺，所下导管下孔前长度应准确丈量，导管要求拼接垂直，最后一节导管长度在4m以上，导管直径250。

1) 导管内外彻底清洗干净，连接严紧，下孔前必须进行密封性试验，密封性试验现场试验，自来水常压下无漏水，浇灌砼过程中导管不漏浆，试验合格后方可下孔。

2) 导管下完后，第二次清孔经监理验收合格后，立即灌注砼。

3.5二次清孔

第二次清孔在安放钢筋笼和导管后砼浇筑前，采用导管法正循环清孔工艺。泥浆比重符合规范及设计要求，沉渣厚度满足规范要求，经监理验收合格后方可进入下道工序。

3.6水下灌注砼及水下混凝土浇筑保证措施

1) 原材料：商品砼的技术指标及质保书、复试合格证等送监理审核后后方可使用。

2) 储料斗容量 1.5m^3 ，经计算能满足初灌砼导管的有效埋深不少于0.8m，控制好最后一次砼的灌入量，保证桩顶砼的质量。

3) 砼浇筑过程中，有专人测定砼面高度，控制导管有效埋深2-6m，导管应勤拔、少拔，拔沉结合方法使砼均匀密实，严格控制导管有效埋深不小于2m。

4) 提升导管时防止拖带表层砼造成浮浆泥渣的侵入，控制导管的垂直度，防止挂碰钢筋笼。导管拆除后用清水清洗干净，并集中堆放整齐，保持场地整洁。

5) 每班坍落度抽检不少于一次，及时制作混凝土标养试块，每根灌注桩必须一次性连续完成并满足充盈系数。

(二) 三轴搅拌桩施工

1、场地回填平整

三轴搅拌机施工前，必须先进行场地平整，清除施工场地内地上及地下障碍物，铺设走道板或钢板，施工场地路基承重荷载以能行走 50T 吊车为准，以保证施工安全、顺利进行^[3]。

2、测量放线

根据提供的坐标基准点，按照设计图进行放样定位及高程引测工作，并做好永久及临时标志。放样定位后做好测量技术复核单，提请监理进行复核验收签证，确认无误后进行搅拌施工。

3、开挖沟槽

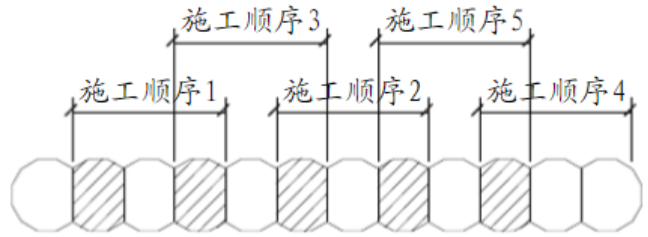
根据基坑支护内边控制线，采用 0.8m^3 挖土机开挖沟槽，并清除地下障碍物，沟槽尺寸如图所示，开挖沟槽余土应及时处理，以保证三轴搅拌桩正常施工，并达到文明工地要求。

4、桩机就位

由当班班长统一指挥，桩机就位，移动前看清上、下、左、右各方面的情况，发现障碍物应及时清除，桩机移动结束后认真检查定位情况并及时纠正。桩机应平稳、平正，并用线锤对龙门立柱垂直定位观测以确保桩机的垂直度。三轴水泥搅拌桩桩位定位后再进行定位复核，偏差值应小于5cm。

5、施工顺序

本工程三轴搅拌桩施工按套接一孔法施工，止水帷幕的搭接以及设备的垂直度补正是依靠重复套打来保证，以达到止水效果。一台搅拌桩机从一侧开始施工。在最后闭合位置出现冷缝，在外侧加强5个搅拌桩。



6、桩机垂直度校正

在桩机上焊接一半径为4cm的铁圈，10m高处悬挂一铅锤，利用经纬仪校直钻杆垂直度，使铅锤正好通过铁圈中心。每次施工前必须适当调节钻杆，使铅锤位于铁圈内，即把钻杆垂直度误差控制在1/250内。

7、三轴搅拌桩成桩

严格控制水泥含量，确保下沉与提升速度，确保桩底标高以及24小时的连续作业，避免冷缝的出现。

8、资料整理

施工过程中由专人负责记录，记录要求详细、真实、准确。每天要求做一组 $7.07 \times 7.07 \times 7.07\text{cm}$ 试块，试样宜取自最后一次搅拌头提升出来的附于钻头上的土，试块制作好后进行编号、记录、养护，到龄期后由监理单位随机抽取送实验室做抗压强度试验，28天龄期无侧限抗压强度要求符合设计要求。

(三) 支撑梁施工

1、施工顺序

1.1 支护桩、深搅桩、工程桩施工结束后，紧跟其后进行管井施工。场地内布置56口 $\Phi 400$ 降水管井，井深20m。管井施工结束后开始降水，水位降到首层开挖土（支撑梁底）以下0.5米时。开始大面积土方开挖至支撑梁底标高，其后施工钢筋混凝土腰梁和砼支撑。

1.2 待支撑系统达到设计强度的80%后，向下分区、分块、分层土方开挖至普遍区域基底标高（-10.00~-11.60），及时浇筑混凝土垫层及基础底板，并设置换撑系统（电梯井、集水井等深坑须待普遍区域垫层形成后方可开挖）。

1.3 待基础底板及地下二层结构梁板换撑体系形成并达到设计强度的80%后，拆除支撑。

2、主要施工方法

2.1 清理桩头

围护施工完成一定工作面后即组织劳动力清理桩头。

2.2 模板安装

模板采用15厚胶合木模板，楞木采用 50×100 方木，主楞采用 $\Phi 48 \times 2.7$ 钢管，模板安装前，必须涂刷隔离剂，以便于拆除模板和增加模板的周转次数。涂刷隔离剂时，不得污染钢筋，以免影响质量。

梁模板安装：拉线、找平→安装侧模板→安装侧模

斜撑、梁上口对撑→浇捣混凝土→模板拆除。

2.3 混凝土浇筑

1) 钢筋绑扎验收后进行混凝土浇灌，采用汽车泵与泵管一次性浇筑，但应控制浇筑速度。

2) 每条梁浇筑方法，逐段轮换连续，直至浇筑完毕，不宜留设施工缝。

浇筑梁交叉处的混凝土时，一般钢筋较密集，宜用小直径振动棒从梁的上部钢筋较稀处插入梁端振捣，必要时可辅以用细石子同强度等级混凝土浇筑，并用人工配合捣固。

3) 严格控制混凝土配合比，每车检查塌落度，及时制作拆模试块、同条件养护试块及标养试块等。

4) 施工注意事项

浇筑混凝土时，防止踩踏钢筋、碰动钢筋，保证钢筋位置正确。

在混凝土浇筑过程中对监测设备的保护，主要是应力计和导线的保护。

5) 泵送混凝土施工操作

泵车开始压送混凝土时速度宜慢，待混凝土送出管子端部时，速度可逐渐加快，并转入用正常速度进行泵送。压送要连续进行，不应停顿遇到运转不正常时，可放慢泵送速度。当混凝土供应不及时，需降低泵送速度。泵送暂时中断时，应每隔5-10分钟，利用泵机进行抽吸往复推动2-3次，以防堵管。

泵送中途停歇时间，一般不应大于60分钟，如超过，应予清管或添加自拌混凝土，以保证泵机连续工作与混凝土成型时效。



支撑成型效果图

(四) 坡道换撑及后浇带传力件施工

1、坡道换撑施工

在外墙和坡道侧壁施工时，分别埋设钢板预埋件，钢板预埋件间隔位置，与楼板中心线对齐。浇筑混凝土后，待混凝土有一定强度。吊起H400*400*13*21两侧均卡在钢板预埋件上焊接。

2、地下室底板及二层顶板后浇带传力件

在底板钢筋绑扎时，22b工字钢@2000埋入板中心，焊接固定工字钢，浇筑混凝土。

五、围护支撑结构的拆除

(一) 支撑拆除概述

负二层顶板混凝土强度达到设计强度及换撑砼达到

80%时，汽车坡道位置内侧换撑型钢，后浇带传力件施工完成后，方可以进行内支撑梁拆除。拆除原则：“先破砼梁，再切断梁的主筋”、“先中间后两边，先次梁后主梁”。

支撑换撑前的工作：地下室防水施工结束，地下室室外回填土结束。地下室回填土采用素土分层夯实。

(二) 拆除方法

采用绳锯切割成块，用叉车水平运输至吊点区域，由汽车吊吊运至平板车外运出工地现场后另行进行破碎和材料的回收利用，既环保又避免噪音的发生。

(三) 格构柱的拆除

1、支撑梁全部拆除完成后，用气割把格构柱割除。

2、在割除格构柱前，先将格构柱周围混凝土凿除2cm面层，然后割平，用高标号砂浆补平。

(四) 成品保护和安全措施

1、在地下室顶板上覆盖钢板以缓冲叉车运输已切割成段后混凝土块体对混凝土板面的保护作用。

2、机械设备设专人管理，在拆除区周围设危险警示标志，加强安全巡管等。

六、基坑监测控制

1、支护结构顶部沉降、水平位移监测：在支护结构冠梁和坡顶上设观察点47个。

2、周边土体深层水平位移（倾斜）监测：共设8各测斜孔，孔深35米左右。

3、坑外地下水水位监测：在基坑外设水位观测井16只（兼作回灌井）。

4、周边地下管线变形观测：对周边重要管线各自的位置与深度进行有效观测与保护。

5、周边道路、高压电线沉降观测：每隔25米布置一个观测点。

6、支撑轴力监测：根据基坑代表性的受力点，设置11个监测点。

自土方开挖开始至支撑拆除完成前，由第三方监测单位按照监测方案进行监测，支撑拆除期间应增加基坑监测频率，24小时巡视，4小时监测一次，至所有支撑结束一周后，恢复正常监测频率，并及时向各方反馈监测结果。支撑梁拆除后，回填土施工完毕前，观测不得停止，边坡边3m以内严禁堆载。

工程桩与垂直支护自2020年9月开始，2020年12月全部完成，2021年1月开始表层土开挖至2021年8月拆除完成，历时12个月，各项质量、技术、监测等指标可靠，有效地确保了周边环境的安全，同时结构于2022年1月顺利封顶。

参考文献

[1] 陈晓旭. 岩土工程中深基坑支护设计与施工技术探微[J]. 四川水泥, 2019(8):75.

[2] 陈永标. 软土地层桥梁深基坑支护设计与施工技术要点分析[J]. 建材发展导向(下), 2020, 18(1): 248-249.

[3] 付津杰. 建筑工程深基坑的支护设计与施工技术[J]. 中国房地产业, 2020(20):60.