

硬咬合桩在含承压水复杂软土地层中的应用

徐 辉

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘 要:通过上海某水厂基坑的咬合桩围护施工,分析了在含承压水的复杂软土地层中采用全套管全回转钻机进行硬切割成孔的咬合式排桩施工易出现的问题,以及采用的相应施工措施和施工要点,保证了工程的施工质量,为以后类似工程施工提供借鉴和参考

关键词:硬切割咬合桩;承压水地层;复杂软土地层;全套管全回转钻机;环境保护

中图分类号: TU753.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)03-0193-05

0 引 言

20世纪50年代由法国 Benoto 公司发明的钻孔咬合桩是采用全套管灌注桩机施工而形成的混凝土灌注相互咬合搭接形成的具有挡土和止水作用的一种基坑连续桩墙支护结构。钻孔咬合桩已在国内外获得了广泛的应用。欧美地区的使用历史已近 60 a,亚太地区(包括港台地区)的使用历史也近 40 a,我国内地地区于 1999 年在深圳地铁一期工程中引入^[1],随后在全国各地的深基坑和地铁基坑施工中获得了大量的成功应用,但在水务工程中应用并不广泛。

随着现代制水工艺的发展,自来水的标准工艺一直在不断地完善和提升,多年的运营的许多老厂水质已经不能完全达到新的要求,大量的水厂需要改造升级。另外,城市内部建筑物密集,重要设施众多,水务工程旧结构改造时往往会引起周围地基的移动与沉降,给邻近地区带来比较严重的影响。因此钻孔咬合桩在水务工程深基坑的施工中已得到越来越多的应用。

钻孔咬合式排桩根据其切割成孔的施工方法分为两种,如果Ⅱ序桩(有筋桩或荤桩)在相邻Ⅰ序桩(无筋桩或素桩)的混凝土终凝后对其切割成孔的为硬切割咬合桩,如果Ⅱ序桩在Ⅰ序桩混凝土初凝前对其切割成孔的为软切割咬合桩。目前上海地区复杂软土地质条件下,在受承压水层影响下进行硬切割咬合式排桩施工的工程应用经验还比较少,本文将对硬切割咬合式排桩在含承压水的复杂软土地层

中的施工技术进行研究,进一步完善钻孔咬合式排桩支护结构的施工工法,为咬合桩施工技术提供类似经验。

1 工程概况

上海某水厂工程顶管工作井和接收井基坑围护结构设计采用硬切割成孔的咬合式排桩,全套管全回转钻机施工,一荤一素的排列方式,共 130 根。Ⅰ序桩 $\Phi 1000@1400$,桩长 20.8 m,采用水下 C20 混凝土;Ⅱ序桩 $\Phi 1000@1400$,桩长 30.8 m,采用水下 C30 混凝土。顶管工作井基坑平面尺寸 13.4 m $\times$ 8.6 m,开挖深度 13.7 m;顶管接收井基坑平面尺寸 9.0 m $\times$ 8.0 m,开挖深度 13.5 m。

如图 1,顶管工作井基坑南侧为砂滤池(下层消毒接触池),距基坑开挖边线 8.9 m,基坑西南角为上海市历史保护建筑,三层砖混结构,浅基础,距基坑开挖边线 16.1 m;顶管接收井位于现状废弃 7# 沉淀池内,基坑西侧紧邻现状 7# 沉淀池钢筋混凝土池壁,为文物保护单位,施工期间需进行保护。顶管工作井和接收井基坑安全等级均为一级;环境保护等级均为一级。本工程施工机械选用钻机型号为 DTR2106 的全套管全回转钻机。

2 工程地质条件

根据地质勘察报告,顶管工作井和接收井咬合桩施工需穿越的复杂软土地层为①₁层杂填土、①₃层粘质粉土(江滩土)、④层灰色淤泥质粘土、⑤₁₋₁层灰色粘土、⑤₁₋₂层灰色粉质粘土、⑥层暗绿-草黄色粉质粘土、⑦₁₋₂层草黄色砂质粉土等,顶管工作井咬合桩还需穿越⑦₁₋₁层草黄色砂质粉土夹粉质粘土,见

收稿日期:2020-10-20

作者简介:徐辉(1975—),男,学士,高级工程师,从事市政EPC总承包管理工作。

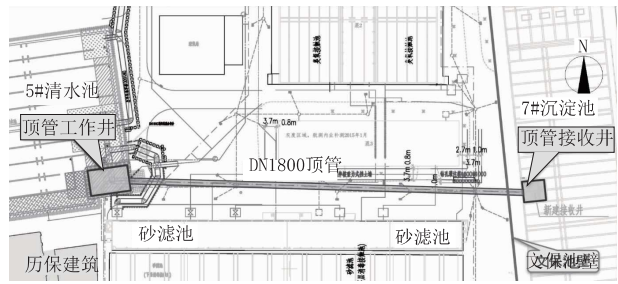


图1 顶管工作井和接收井平面布置图

图2。两基坑浅部 ⑤₁₋₂层及其以上土层埋藏相对较浅,土质偏软,其承载力较低,见表1,①₃层为 65 kPa、④层为 50 kPa 等,但⑦₁₋₂层中密~密实状、中压缩性,其平均 P_s 值 11.17 MPa,土质条件较好,但较深。①₁层土质松散,成孔时容易坍塌;①₃层为粉性土,透水性强,在动水压力下容易产生流砂现象;④层淤泥质土,抗剪强度低,容易产生蠕变及剪切破坏。

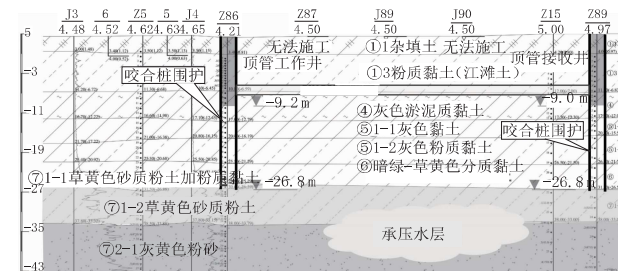


图2 咬合桩施工穿越土层剖面图

表1 土层物理力学性质参数表

土层	厚度/m	含水量/%	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	c/kPa	$\phi/^\circ$	f_{ak}/kPa
① ₃	7.7	32.5	18.4	10	28.5	65
④	5.7	52.2	16.6	11	9.5	50
⑤ ₁₋₁	4.3	42.4	17.4	15	12.0	65
⑤ ₁₋₂	4.4	33.1	18.3	16	20.5	85
⑥	3.9	23.5	19.7	46	18.0	
⑦ ₁₋₁	2.0	27.2	18.9	5	34.0	
⑦ ₁₋₂	6.9	28.2	18.7	5	33.5	

基坑场地内浅层地下水属潜水,实测稳定地下水位埋深在 0.70~1.50 m 之间,绝对标高在 +3.28~+3.80 m 之间;所在的⑦₁₋₁、⑦₁₋₂、⑦₂₋₁及⑦₂₋₂层分布的地下水属承压水,这些含水层相互沟通,可视其为一个含水层,其水位呈周期性变化,水位埋深约 3~12 m。⑦层承压水实测稳定水位埋深在 3.38~3.81 m 左右,对应绝对标高在 +0.83~+1.19 之间。顶管工作井基坑挖深 13.7 m,根据规范值和实测值验算不同水位情况下基坑开挖突涌可能性,按最不利情况考虑:即承压水水位埋深 3.0 m、⑦层层顶最不利绝对标高为 -23.45 m 时(对应埋深为 28.1 m),本工程基

坑开挖过程中,可能发生⑦层承压水突涌。本次咬合桩Ⅱ序桩(有筋桩或荤桩)桩长 30.8 m,桩底位于⑦₁₋₁层承压水层或⑦₁₋₂层层顶,钻进过程中如施工控制不当则易引起孔内突涌,对周边环境控制极其不利。

3 基坑围护方案选择

本工程基坑施工有以下难点:现场场地狭小,实施难度大;在文物保护区内进行施工,保护要求高,需选择刚度较大的围护结构,以便将基坑开挖对周边环境的响控制在规范允许的范围内;基坑施工期间时,必须保证周边建构筑物及管线的正常生产运行;特别是由于是原址改造,地下障碍物(老旧基础、水池池壁、围护地下管线等)众多,且由于年代久远,具体情况不明,围护桩施工难度较大。

结合本工程特点及上海地区类似工程的成功实践经验,特别是该水厂 2007 年建设完成的“7# 生产系统净水工艺深化建设工程”的深基坑设计施工经验。在设计之初通过比选以下几种围护结构:水泥土搅拌桩挡土墙、灌注桩分离式排桩、咬合桩、型钢水泥土搅拌墙、地下连续墙等板式支护体系,综合分析了他们的优缺点,最终选用了咬合桩围护方案。

顶管工作井的咬合桩围护设计方案平剖面见图 3、图 4。

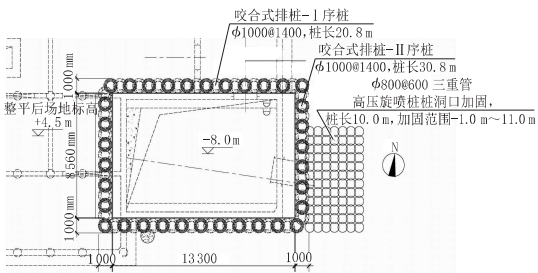


图3 顶管工作井围护平面图(单位:mm)

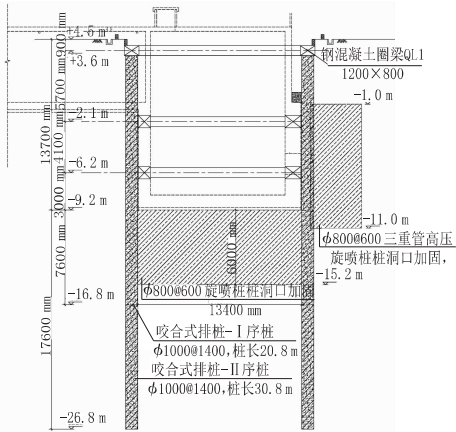


图4 顶管工作井围护剖面图

顶管接收井的咬合桩围护设计方案平剖面见图5、图6。

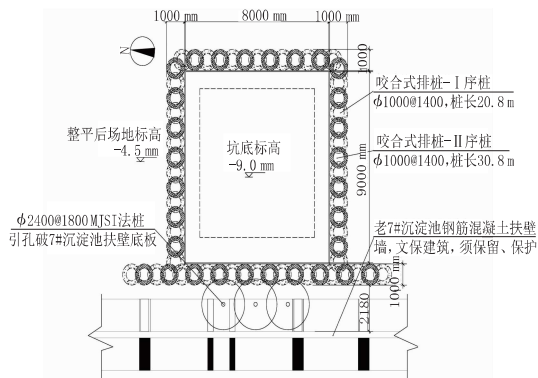


图5 顶管接收井围护平面图

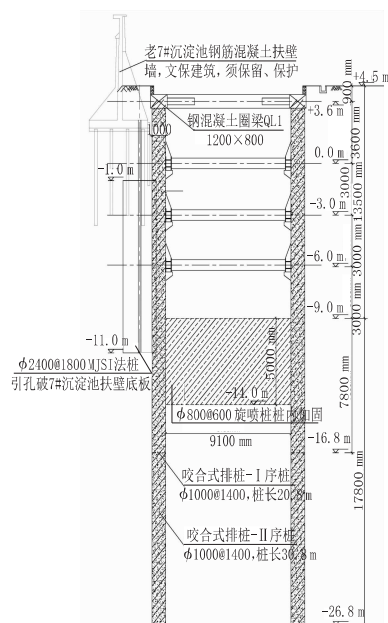


图6 顶管接收井围护剖面图

咬合桩是钢筋混凝土桩与素混凝土桩切割咬合,桩与桩之间排列构成互相咬合的桩墙,桩与桩之间可一定程度上传递剪力。优点:具有围护墙刚度较大、占用施工空间小、并同时具有承力和防渗两种功能、止水可靠、对周边建筑物及地下管线影响小等特点。同时,可以兼顾清障和施工围护桩两种功能。对于本工程特点,场地狭小、可能存在障碍物的情况,特别适用。缺点:该工艺施工难度较大、对施工单位技术实力要求较高、速度较慢,施工成本较钻孔灌注桩+止水帷幕要高30%左右。

4 硬切割咬合桩施工要点

4.1 施工流程

场地平整→测量放样→浇筑导墙→导墙孔位复核→钻机定位板对中孔位→钻机吊装就位、调平→吊装第一节套管切削靴→钻进取土→吊装下一节套

管→钻进取土→重复上一流程干成孔至承压水层最低反压标高→孔内注水反压至导墙面高度→水下取土至成孔完成(过程中严格控制、检查垂直度)→测孔深、检查孔底→清孔、吊放钢筋笼→放入灌注导管→水下浇筑混凝土逐次拔管→测定混凝土面标高→成桩→移机。

4.2 钻进成孔施工顺序

咬合桩分I序素混凝土桩(A桩或素桩)和II序钢筋混凝土桩(B桩或荤桩)两种,在桩与桩之间形成相互咬合排列的一种基坑围护结构。施工时先施工I序桩后施工II序桩,II序桩应在相邻两根I序桩混凝土终凝后切割成孔,II序桩切割的相邻两根I序桩强度差值不大于3 MPa;II序桩施工时采用全套管全回转钻机切割掉相邻两根I序桩相交部分的混凝土,实现硬咬合。施工顺序为I A1-I A2-I A3-I A4-II B1-I A5-II B2-I A6-II B3……见图7。

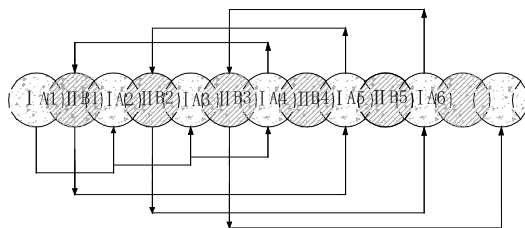


图7 咬合桩排列示意图

I序桩和II序桩施工顺序可根据实际桩长和单桩施工时间进行调整,II序桩施工时间宜在I序桩完成7d左右钻进成孔施工;硬咬合桩施工灌注的混凝土无需添加缓凝剂,受混凝土凝固时间限制较小。II序桩两侧相邻的两根I序桩强度差值不可过大,否则不易控制成桩垂直度。

4.3 导墙施工

4.3.1 导墙质量问题及分析

采用咬合桩导墙的主要目的是为保证钻孔咬合桩孔口的精确度,提高就位效率。常见的咬合桩导墙质量问题有:厚度较薄、配筋不足、强度较小。在施工过程中发现常有导墙被压裂、压碎,或有翻翘现象。

全套管全回转桩机和配合施工的吊机自身较重,目前国内市场常用的全套管全回转钻机较轻的也有30 t,重的达50~60 t;配合的吊机自重70~120 t;故吊装时对导墙的荷载为1 000~1 800 kN。导墙除了给咬合桩孔位进行定位,最主要的目的是为全套管全回转钻机施工提供足够的承载力,如果导墙承载力不够,钻机就位后在施工荤桩时,有可能因下部导墙问题引起钻机晃动,导致桩身垂直度偏

差和孔位偏差,从而对素桩切削面造成破损、裂纹等不良现象,影响咬合桩定位和成桩质量。

4.3.2 导墙质量控制要点

(1)测量定位:根据测量放样的桩位中心线,放样导墙两侧边线,再根据咬合桩的直径外放 20 mm 作为导墙咬合桩孔位的外侧线。成型后的导墙总宽度不宜小于配合全套管全回转钻机施工的履带吊履带行走的宽度。

(2)导墙施工:导墙地基承载力需满足全套管全回转钻机施工荷载要求;可根据建筑地基基础设计规范(GB 50007—2011)内相关计算公式及岩土勘察报告计算出导墙地基的实际承载力;再结合全套管全回转钻机施工荷载要求计算出导墙的厚度和配筋及混凝土强度要求。如果周边环境保护要求较高,建议导墙厚度不小于 400 mm,导墙钢筋采用 $\Phi 12@200$ 双层双向钢筋网,混凝土强度不低于 C30。

(3)导墙模板及混凝土浇筑:模板宜采用钢模板,导墙转角处模板应根据图纸实际桩位定制模板实际尺寸和形状大小,混凝土施工前先检查模板的垂直度和中心以及孔径是否符合要求。导墙混凝土浇捣时须做到两边对称施工,确保受力对称均布,以防止因为不均匀受力造成的跑模。

4.4 垂直度控制

(1)定位板定位。复核桩位后,把钻机定位板吊装起来,利用十字交叉法确定定位板中心点,下放安装完成后使定位板中心点与桩位中心点重合,确保桩位偏差小于 1cm。定位板安装前应确保安装地面平整,无高低不平的现象;定位板放置后应平稳,确保钻机安装后无滑动和偏移现象。定位板定位是全套管全回转钻机钻进成桩的首要工作,其定位精度和稳定状态对成桩的桩位偏差、后续的垂直度控制及成桩质量起了决定性的作用。

(2)钻机就位、调平,首节套管安装。钻机定位板安装后,利用钻机自身的调平系统调平,钻机自身的调平油缸可满足钻机的水平调整和钻进时钻机垂直度控制要求。首节套管的初始垂直度很关键,是钻进施工垂直度控制的重点,如首节套管安装不当将直接影响后续钻进垂直度。首节套管吊放至钻机套管孔内时,钻机的四个支腿油缸应处于全部收缩或全部顶升的状态,在夹紧装置夹紧套管前套管应处于垂直悬吊状态,并与地面保持一定距离,宜为 30 ~

50 cm,然后用夹紧装置夹紧套管开始下压钻进。

(3)套管垂直度控制。钻进过程中需安排 2 人利用垂线法对钻管垂直度进行全程监控,严格控制钻管垂直度,如垂直度出现偏差应及时纠偏,满足要求后才能继续下沉取土,或者安装下一节套管,如此重复,直至达到设计孔底。

(4)套管垂直度纠偏措施。成孔过程中如发现垂直度出现偏差,必须及时进行纠偏,如果这时套管入土深度不超过 5 m,可直接利用钻机的两个顶升油缸和两个推拉油缸进行调节;如果套管入土深度大于 5 m,可先利用钻机油缸直接纠偏,如无法达到要求,可慢慢拔起套管,同时向套管内回填砂或粘土,将套管提升到上一次检查合格的地方,然后调直套管,检查其垂直度合格后再重新缓慢下压。

4.5 软土层中钻进取土控制要点

粘质粉土、淤泥质粘土在饱和水压力作用下易软化呈流塑状,可能引起管涌或对刚完成不久的相邻素桩的挤压变形。因此,根据本工程经验,在软土层中钻进取土建议采取以下措施:

(1)钻进取土过程中需控制好施工参数,使套管的下压力、下压速度与取土面高度相互匹配。在荤桩钻进成孔过程中,切割两侧的素桩混凝土时,下压过快或下压力过大,混凝土切削面切削不充分,可能造成素桩切割面崩裂、破损和桩身裂纹等现象,素桩取土面与套管底口的高差宜控制在 1.5 ~ 3 m;荤桩取土面与套管底口的高差宜控制在 1 ~ 2 m,套管下压时严禁下压力过大将全套管全回转钻机支腿油缸顶压至脱离定位板,宜多回转切割,在低压力低频率下压钻进。

(2)管内取土面和套管超深长度应满足孔内防管涌的要求,严禁取土超挖、套管下压速度过快及套管超深不足。

4.6 承压水层中施工要点^[2]

(1)重视并做好施工前试桩。在含承压水的软土地层中施工,应严格按照试桩优化后的参数进行施工,防止施工不当或缺乏经验造成孔内承压水突涌。试桩中如果发现,当暂停取土时,套管孔底取土面出现异常上升,这时应立即停止取土,分析原因,如果是因承压水的影响造成上部土体涌起,应立即灌水,然后使用水下抓斗进行水下取土作业。

(2)采取干取土与水下取土相结合的成孔方式。荤桩钻进取土,上部成孔采取干取土作业,但随着孔

底取土面的下降,受承压水的影响,压载土体太薄后,下部承压水将会把管内土体顶起,造成孔内突涌,故孔底土体需要留置一定的厚度。然后用大流量潜水泵向孔内注水,注水完成后再继续钻进并水下取土成孔,完成成桩施工。

(3) 钢筋笼质量控制要点

a. 钢筋笼制作宜采用自动化的钢筋笼绕筋机等机械化制作,以保证钢筋笼成型外径符合设计和规范要求,控制因钢筋笼成型不规则引起混凝土灌注起拔外套管时套管内壁与钢筋笼卡死,造成钢筋笼上浮。

b. 钢筋笼底部需焊接一块比钢筋笼内径小5~10 cm的钢板,钢板圆心位置开一直径2~5 cm的小孔,防止灌注时钢筋笼上浮和灌注完成后桩身下沉。

c. 钢筋笼下放完成后,宜将钻进超深的套管起拔至距钢筋笼底部约5 cm位置处,再进行混凝土灌注;防止混凝土与套管底部土层形成土塞和套管底口切削刀齿卡住钢筋笼,导致套管拔除时带动钢筋笼上浮。

d. 钢筋笼下放完成后,混凝土灌注前需做吊筋,待混凝土灌注至首节套管拔除时再拆除,防止钢筋笼下沉。

(4) 水下混凝土灌注施工要点

a. 采用导管法进行水下混凝土灌注,导管直径为300 mm,导管连接顺直、光滑、密闭、不漏水,灌注混凝土前先进行压力试验;导管内隔水栓选用橡胶浮球。

b. 在浇筑过程中,随时检查是否漏水,首灌时导管底部距孔底30~50 cm,首灌混凝土量要经过计算确定;灌注混凝土应连续进行,严禁中途停顿。导管埋入混凝土内深度为3~6 m,不得小于2 m或大于6 m。

c. 混凝土骨料粒径宜小于2.5 cm,塌落度控制

在 $200\text{ mm} \pm 20\text{ mm}$ 。对于骨料粒径大于4 cm、塌落度小于180 mm的混凝土严禁灌注。

d. 拔管成桩:一边浇筑混凝土一边拔套管,应始终保持套管底低于混凝土面不得小于2.5 m或大于10 m。

(5) 套管底部刀具检查及更换

每施工完成一根桩,需检查刀齿磨损情况,对合金头有缺块现象或合金头磨损小于2 cm的刀齿需立即更换。

5 结 语

该文对硬切割咬合式排桩在含承压水的复杂软土地层中的施工技术进行了总结,进一步完善了钻孔咬合式排桩支护结构的施工工法。

(1)随着城市化的进程,以及地下工程的不断发展,市区改建工程的增多,地下障碍物处理以及基坑周边环境等级提高,采用硬切割咬合桩围护的基坑会越来越多,在含承压水的复杂软土层中进行硬咬合桩围护施工,有一定的推广意义。

(2)通过本工程的实践,总结了在含承压水的复杂软土层中进行硬切割咬合式排桩的施工要点,克服了承压水层对咬合桩施工的不利影响。经过基坑开挖后对咬合桩的检测,I类桩达97.8%,垂直度控制也较好;桩体个别位置略有湿迹外,无滴水或线流现象;周边环境最大沉降为1.56 mm,很好地保护了基坑周边的历史保护建筑等重要建构筑物。希望为以后类似工程施工提供借鉴和参考。

参考文献:

- [1] 张佐汉,刘国楠,胡荣华.深圳地区钻孔咬合桩围护结构施工技术的研究[J].铁道建筑,2010(5):37-42.
- [2] 张治纯,程森德,何建明,等.咬合桩在含承压水地层施工中的应用[J].探矿工程:岩土钻掘工程,2008(9):45-47.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com