

# 超硬地层下地下连续墙关键施工技术

崔巍

(上海远方基础工程有限公司,上海市 200436)

**摘要:**超硬地层是基坑支护施工中常见的复杂工况之一。依托恒大中心项目对超硬地层区域地下连续墙关键施工技术进行分析研究,探讨超硬地层中地下连续墙施工的质量控制技术,确定了单槽五个引孔的引孔方式,旋挖钻、成槽机以及铣槽机三种机械配合的成槽施工工艺,并给出了部分针对于类似工程的施工建议。结果表明,提出的单槽五个引孔的引孔方式以及旋-抓-铣的施工工艺具有良好的可行性。

**关键词:**超硬地层;引孔方式;旋-抓-铣施工工艺;质量控制

**中图分类号:** TU473.2

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2023)03-0164-03

## 0 引言

地基基础正在向超深的方向发展,伴随超深而来的难题之一是超硬地层。目前,国内外对软土地层的施工技术已经比较成熟,但在超硬地层条件下的基坑围护施工还存在不足。超硬地层条件下地下连续墙施工研究吸引了一部分学者的目光。宋志国等<sup>[1]</sup>对临近地铁情况下复杂超硬高层建筑基坑施工进行研究,确定了控制变形的多种工艺复合施工方法。陈日胜和周翰斌<sup>[2]</sup>研究了埃及塞得东港集装箱码头超深T形地下连续墙工程,采取钻设引导孔、槽壁预加固、改善泥浆性能、保持槽内液面等一系列有效的技术措施,解决了超硬地层成槽施工的重大技术难题,取得了良好的社会效益和经济效益。董立波等<sup>[3]</sup>针对超硬地层条件地铁车站地下连续墙成槽施工工艺比选进行研究,借助MIDAS GTS NX有限元模拟软件建立了地下连续墙成槽施工全过程的三维模型,探究超硬地层条件下地下连续墙在三种不同工况下的水平变形规律,最终确定了“成槽机+冲击钻”的施工工艺。也有少部分学者针对SMW工法桩在超硬地层条件下的施工工艺进行研究,罗贞海<sup>[4]</sup>介绍了SMW工法桩再超硬地层的运用现状,并提出采取改进钻头、钻杆、动力头、引孔辅助和施工参数等措施,使SMW工法桩具备超硬地层施工能力,同时分析了SMW工法桩在超硬地层施工中的设备损耗、偏钻、型钢插入和回收难度大和水泥用量大等不足,以及

相关SMW工法桩改进措施和施工特性。

基于恒大中心地下连续墙项目,对超硬地层区域地下连续墙施工关键技术进行细致的讨论。

## 1 工程概况

恒大中心主体高度约393 m,拟设置6层地下室,基坑开挖深度39.05~42.35 m,为现阶段民用建筑最深的基坑工程;形状呈矩形,基坑支护长约370 m,开挖面积约8451 m<sup>2</sup>。拟建场地位于深圳湾滨海软土区,场地地质构造和风化球(孤石)发育,基岩埋深起伏大。

### 1.1 地质环境

根据地勘报告,场地内分布的地层自上而下有人工填土( $Q_{ml}$ ),包括素填土、填石、填砂;第四系全新统海陆交互沉积层( $Q_{mc}^4$ ),主要为淤泥;第四系上新统冲洪积沉积层( $Q_{al+pl}^3$ ),包括黏土、含粘性土砾砂;第四系上新统沼泽相沉积层( $Q^3h$ ),主要为机质粉质黏土;第四系残积层( $Q_{el}$ )-砾质粘性土及早白垩世燕山四期粗粒花岗岩( $\eta\beta 5K1$ )-各状态花岗岩和构造岩(F)-破碎岩。具体地层信息见表1所列,地层分布见图1所示。

### 1.2 水文环境

地下水类型主要有第四系松散层中的孔隙潜水和基岩裂隙承压水两种。

(1)孔隙潜水:主要赋存于填石、填砂、含粘性土砾砂(层序号③<sub>2</sub>),其含水性及透水性较好,为富含水、强透水地层。其余地层属弱含水和弱透水性地层。

(2)基岩裂隙承压水:基岩裂隙水发育程度、含水性、透水性,受岩体的结构和构造、基岩风化程度、裂

收稿日期:2022-05-27

作者简介:崔巍(1997—),男,本科,工程师,从事基础施工设计与管理工作。

表 1 岩土体性质表

| 序号 | 地层类型     | 状态    | 层厚 /m      | 容重 /<br>( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ) | 承载力特征值<br>$f_{\text{ak}}/\text{kPa}$ | 压缩模量<br>$E_s/\text{MPa}$ | 粘聚力<br>$c/\text{kPa}$ | 内摩擦角<br>$\varphi/(\text{^\circ})$ |
|----|----------|-------|------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| 1  | 素填土      | 松散    | 0.50~8.30  | 18.5                                      | 90                                   | 3.5                      | 8                     | 15                                |
| 2  | 填石       | 稍~中密  | 0.70~12.80 | 19.5                                      | 130                                  | —                        | —                     | 33                                |
| 3  | 填砂       | 松散    | 0.50~5.50  | 19.1                                      | 110                                  | 4.5                      | —                     | 32                                |
| 4  | 淤泥       | 软~流塑  | 0.50~6.20  | 16.2                                      | 50                                   | 2.5                      | 8                     | 4                                 |
| 5  | 黏土       | 可塑    | 0.50~6.90  | 19.2                                      | 160                                  | 6.0                      | 20                    | 18                                |
| 6  | 砾质黏性土    | 可塑~硬塑 | 1.20~18.40 | 18.0                                      | 220                                  | 8.0                      | 24                    | 24                                |
| 7  | 全风化粗粒花岗岩 | 全风化   | 0.50~18.90 | 20.5                                      | 360                                  | 13.0                     | 32                    | 28                                |
| 8  | 强风化粗粒花岗岩 | 强风化   | 0.30~23.50 | 21.0                                      | 600                                  | 20.0                     | 32                    | —                                 |
| 9  | 中风化粗粒花岗岩 | 中风化   | 0.30~24.80 | 25.0                                      | 2 500                                | —                        | —                     | 55(等效)                            |
| 10 | 微风化粗粒花岗岩 | 微风化   | 2.57~56.01 | 26.0                                      | 8 000                                | —                        | —                     | 70(等效)                            |



图 1 地层分布图

隙发育程度、裂隙贯通性等影响。由于岩体的各向异性,加之局部岩体破碎、节理裂隙发育,导致岩体富水程度与渗透性也不尽相同。岩体的节理、裂隙发育地带,地下水相对富集,透水性也相对较好,反之亦然。总体上,基岩裂隙水发育具非均一性。场区下伏基岩为粗粒花岗岩,该类型地下水主要赋存于基岩强~中风化带中,富水性因基岩裂隙发育程度、贯通程度及胶结程度、与地表水源的连通性而变化。基岩裂隙水整体上较为丰富,另外,岩体破碎带含水量相对较丰富。

2 地下连续墙施工工艺

地下连续墙具体施工流程见图 2 所示。在超硬地层地下连续墙施工中,采用成槽机将上覆非岩层部分抓除;单幅地下连续墙宽度为 6 m,厚 1.2 m,采用三抓法成槽。由于现场施工过程中,采用铣槽机对下部岩层进行铣槽时,其铣槽效率较低,仅为 0.2 m/h,在

采用旋挖钻机引孔施工后,其综合效率达到 0.4 m/h。因此,确定上部非岩层采用成槽机成槽,下部岩层在利用旋挖钻机引孔后进行铣槽机铣槽的施工工艺。

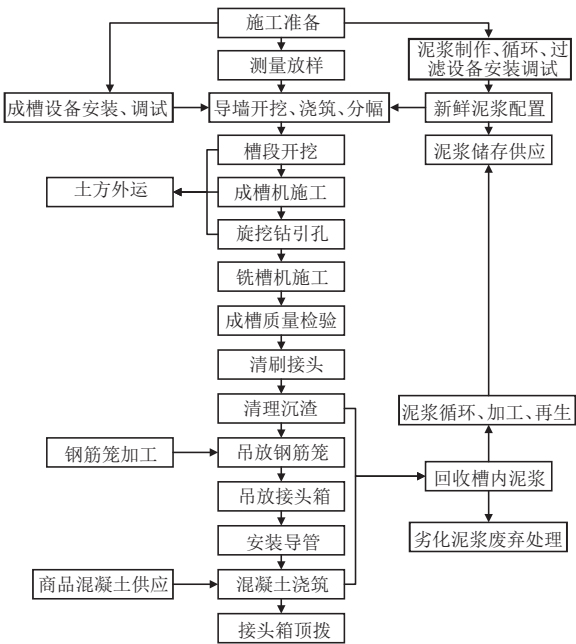


图 2 地下连续墙施工流程图

3 关键施工技术

该项目中地下连续墙施工关键技术包括:(1)导墙制作;(2)旋挖钻机引孔;(3)清理沉渣;(4)混凝土浇筑等。

3.1 导墙制作

导墙在施工中的作用是为地下连续墙成槽导向、控制标高,以及防止槽口坍塌及承重等。该项目导墙设计如图 3 所示。导墙形式为倒“L”型。其施工顺序为:平整场地→测量放样→挖槽→绑扎→模板设置→浇筑混凝土→拆模并设置横撑。导墙尺寸需满足垂直度要求,其中心线误差值为 ±10 mm,导墙顶部标高误差为 ±10 mm,墙面平整度小于 5 mm。

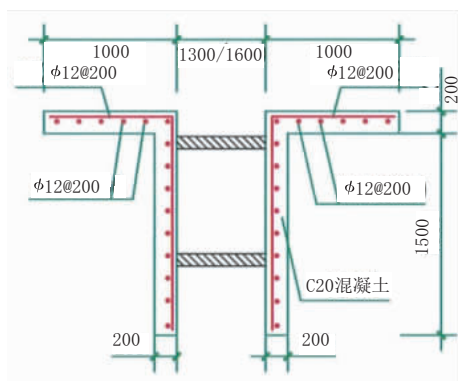


图3 导墙设计图

### 3.2 旋挖钻机引孔

采用大功率旋挖钻机进行引孔,其目的为减少铣槽作业中岩层的含岩率,破坏岩层的完整性,降低其强度并减少铣槽机铣轮与岩层的接触面积,进而实现成槽作业工效提高的目标。采用直径1.2 m的旋挖钻钻头,首开槽段引孔数量控制为5个,由于单幅槽段采用三抓法成槽,前两抓为槽段左右两侧抓槽,第三抓为中间剩余部分小墙抓槽,因此,左右两侧抓槽位置引孔数量为2,中间部分引孔数量为1,具体引孔位置见图4所示。为保证旋挖钻机引孔垂直度的控制,旋挖钻杆的状态需定期检查,且钻机后台操作人员需实时调整桅杆的角度,保证偏角控制在 $0.2^{\circ}$ 以内。

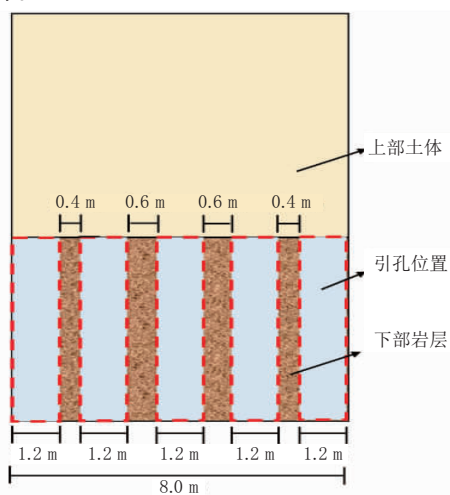


图4 引孔示意图

### 3.3 沉渣清理

地下连续墙槽底沉渣清除采用泥砂分离器与潜水泵。潜水泵泥浆管连接泥砂分离器,安装完成后开始分砂,将潜水泵下放至距离槽底0.5 m处。在下方过程中,控制下放速度为30 s/m。在下放至距离槽底0.5 m后,观察分离器振动板出砂速度,在出砂基本停止后停止清理沉渣。利用测壁仪进行检测,待确认清理干净后进行钢筋笼下放工作。沉渣清理示意图见图5所示。

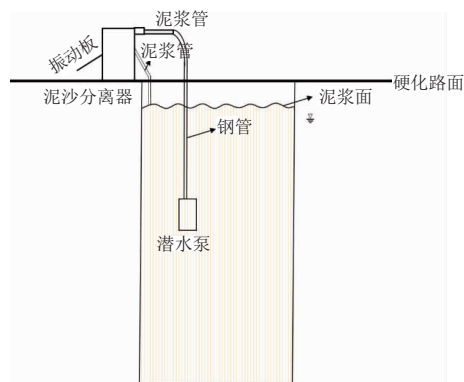


图5 沉渣清理示意图

### 3.4 混凝土浇筑

地下连续墙混凝土材料为C40P12水下混凝土,采用导管法进行浇筑,导管使用前进行闭水试验。在钢筋笼下放完成后,利用吊车将导管下放至距离槽底0.5 m处。单幅槽设置两根浇筑导管,浇筑过程中,始终保证导管埋入混凝土深度在2~6 m内,因此,以根柱实际浇筑量控制导管拔除的高度,且两根导管处的混凝土表面高差不超过0.3 m。为此,两根导管的浇筑速度需尽量保持同步。

## 4 施工建议

根据实际施工经验,总结出以下施工建议:

(1)导墙在拆模后及时设置横撑,且在导墙达到强度之前禁止重型机械在导墙附近行走,避免导墙变形破坏。

(2)施工期间,槽内泥浆液面必须高于地下水位1.0 m以上;在砂层施工时,为避免槽壁塌方,应适当提高泥浆比重和粘度,增加泥浆储备量。

(3)钢筋笼入槽后,用槽钢卡住吊筋,控制钢筋笼标高。横担于导墙上,防止钢筋笼下沉,并用四组(8根) $\phi 50$ 钢管分别插入锚固筋上,与灌注架焊接,防止上浮。

(4)钢筋笼就位后,应控制在4~6 h内灌注混凝土。避免槽内因应力释放时间过长导致塌方等问题。

(5)每一槽段灌注混凝土前,混凝土漏斗及集料斗内应准备好足够的混凝土首灌量,以便确保开塞后能达到0.5 m的埋管深度,并连续浇灌。

(6)连续墙施工应跳槽施工,一期墙浇筑完成并达到设计强度70%以上方可进行相邻槽段的施工。

(7)墙顶浮浆层按照50~80 cm高控制,在开挖后凿除。

## 5 结语

依托恒大中心地下连续墙项目,对超硬地层区

(下转第178页)

筛孔通过率接近,就地热再生的翻松、重铺等工艺流程不会改变路面原有级配。

(3)就地热再生后,由于再生剂的加入,沥青混合料的强度和高温稳定性略有下降,可以满足规范要求,混合料的水稳定性和低温性能明显提高。

(4)就地热再生技术可以重塑路面宏观构造纹理,整形不平整的路面,明显改善路面的抗滑不足、平整度较差等问题,有效提高了路面的安全性和舒适性。

(5)相对传统铣刨重铺的维修方式,就地热再生技术施工周期短,可以一次性翻新路面,修复路面的裂缝、车辙等病害,同时提高混合料的抗水损害性能和低温性能,提高路面的抗滑系数,但由于进行了重

铺,路面的高温稳定性相对降低,渗水增大。因此,就地热再生技术可以在我国北方地区广泛应用,南方高温多雨地区应慎重选用就地热再生技术。

#### 参考文献:

- [1] 董平如,沈国平.京津塘高速公路沥青混凝土路面就地热再生技术[J].公路,2004(1):8.
- [2] 王浩,孙强,闫姝音,等.就地热再生在沥青路面养护中的应用[J].城市道桥与防洪,2017(4):3.
- [3] 舒琴,任达成,胡筑云,等.就地热再生技术在省道沥青路面养护中的应用[J].筑路机械与施工机械化,2014,31(2):7.
- [4] Zhong H, Huang W, Yan C, et al. Investigating binder aging during hot in-place recycling (HIR) of asphalt pavement [J]. Construction and Building Materials, 2021, 276(1):122188.
- [5] JTG F40—2004,公路沥青路面施工技术规范[S].

(上接第 166 页)

域地下连续墙关键施工技术进行研究,探讨了导墙制作、旋挖钻引孔、沉渣清理、混凝土浇筑等关键施工技术,并基于实际施工经验给出部分施工建议。

#### 参考文献:

- [1] 宋志国,梁森,郭钢,等.深圳恒大中心基坑围护结构的环境变形施

工控制方法研究与应用[J].建筑科学,2020,36(S1):144-149.

- [2] 陈日胜,周翰斌.上软下硬地层超深 T 形地连墙成槽施工难题的处理[J].水运工程,2011(11): 232-236.
- [3] 董立波,胡兆东,孙前伟,等.超硬地层条件地铁车站地下连续墙成槽施工工艺比选研究[J].智能城市,2020,6(21):16-18.
- [4] 罗贞海.超硬地层 SMW 工法桩施工工艺探讨和工程实践[J].福建建设科技,2015(2):58-60.