

超深超宽复杂地层地下连续墙施工关键技术

胡宝山

上海智平基础工程有限公司 上海 200072

摘要: 本文通过上海某机场地下空间基坑支护项目的地下连续墙施工全过程, 详细的分析了对于地下水丰富、地质条件复杂、成槽深度大、成槽宽度大等诸多地下连续墙施工的难点, 并提出了有效的解决措施, 为今后超深超宽复杂地层地下连续墙施工项目提供依据和参考。

关键词: 深大基坑支护; 超深地下连续墙; 超宽地下连续墙; 深厚砂层地下连续墙施工; 地下水控制; 槽底沉渣; 泥浆稳定性

Key Technology of the Construction of Underground Continuous wall in Ultra-deep and Ultra-wide Complex Stratum

Baoshan Hu

Shanghai Zhiping Foundation Engineering Co., Ltd. Shanghai 200072

Abstract: In this paper through the Shanghai airport underground pit underground continuous wall construction process, detailed analysis for the rich groundwater, complex geological conditions, groove depth, groove width, and many other underground continuous wall construction difficulties, and put forward the effective measures, for the future super deep super wide complex strata underground continuous wall construction project to provide the basis and reference.

Keywords: Deep and large foundation pit support; Ultra-deep underground continuous wall; Ultra-wide underground continuous wall; Deep sand layer underground continuous wall construction; Groundwater control; Trough bottom sediment; Mud stability

随着国家对基础设施建设力度的加大, 各地下交通枢纽错综复杂, 大型商场地下工程与地铁共建, 大型基础设施下穿明挖段地铁共建, 导致基坑开挖深度加大, 要求支护结构的刚度以及止水深度更高。

基坑开挖超过一定深度的基坑支护, 通常采用地下连续墙与内支撑结合的形式, 但随着基坑深度的增加, 地下连

续墙的宽度也在增加, 采用抓斗成槽工艺施工的地下连续墙, 墙体宽度达到1.5米, 深度超过60米, 由于地下水丰富导致支护体的抗渗流要求高, 从而对地下连续墙的墙缝止水, 沉渣厚度等质量指标提出了更高的要求。

本文通过对浦东机场南区地下交通枢纽及配套工程项目超深地下连续墙施工全过程遇到的难点及解决措施, 从成槽、

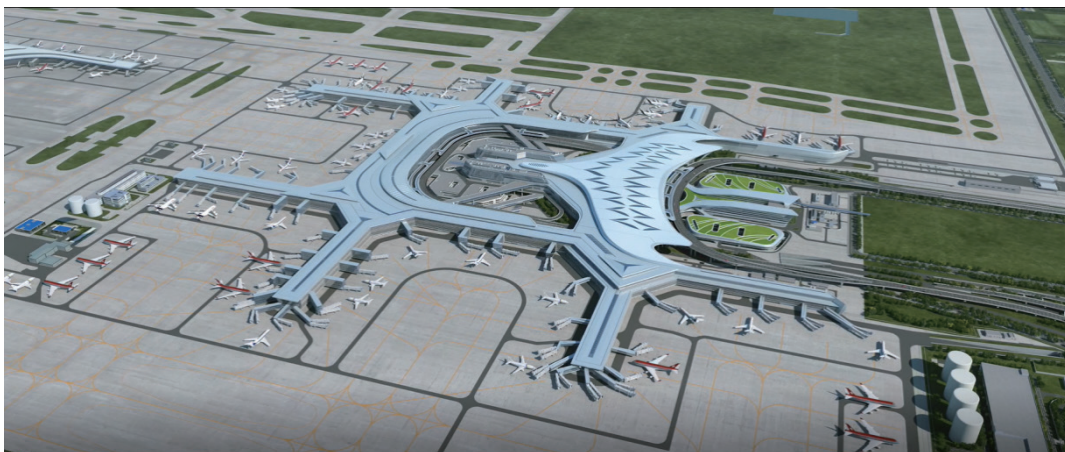


图1 浦东机场T3航站楼效果图

接头的处理、钢筋笼的下放、清底、浇筑几个方面，做出了详细的说明，为类似项目地下连续墙施工项目提供借鉴。

1 工程概况

1.1 基本概况

浦东机场T3航站楼为集航站楼、轨道交通换乘枢纽、停车设施、道路等为一体化的综合体。本期规划地下交通枢纽及配套工程，为轨道交通站台及站厅、地下停车设施、相关市政配套等预留土建结构工程，未来与航站楼无缝衔接，实现安全、高效、一体化的轨道交通换乘功能。（见图1）

基坑总面积约为34.1万m²；核心区域开挖范围面积28.8万m²，空侧捷运区域面积5.3m²，分成若干个基坑群。

其中最深的基坑主要集中在①区，挖深33米，采用地下连续墙结合多道砼支撑的支护形式，采用抓斗形式成槽的地下连续墙最深60米，墙体宽度为1.5米；接头形式为H型钢接头，要求成槽达到设计深度后进行第一次清底，清底过程中采用新制备的泥浆对槽内泥浆进行置换，置换量应不少于槽内泥浆量的100%。第一次清槽后检测沉渣厚度不应大于100mm。在钢筋笼沉放到位且导管安装完毕后进行第二次清底换浆，二次清底后槽底沉渣厚度检测合格，且循环泥浆含砂率应小于4%，泥浆比重应不大于1.25。

1.2 地质条件

拟建场地自地表以下103.32m深度范围内的地基土属全新世Q4至晚更新世Q3时期以来的河口、滨海、浅海、沼泽、溺谷、湖泽相沉积层，主要由饱和粘性土、粉性土、

砂土组成，具水平层理，可划分为9个主要层次。

拟建场地第⑥层暗绿色硬土层仅在正常地层分布区局部分布，根据第⑦层分布状况，可将拟建场地分为古河道分布区和正常地层分布区。古河道分布区第⑤层总厚度较大，第⑦1层大部分缺失，第⑦2层埋深一般大于40m；正常地层分布区一般有第⑦1层分布，其层顶埋深小于35m。

本场地微承压水赋存于第⑤2a层粘质粉土夹粉质粘土、第⑤2b层砂质粉土夹粉质粘土、第⑤③-2层砂质粉土夹粉质粘土中，该三层在古河道区分布，且分布范围较大。局部分布于第⑤2层与第⑤③-2层之间的第⑤③-1层为弱透水层，第⑤③-2层之下分布第⑦层、第⑨层承压含水层，而该三层存在互相连通，承压水直接补给第⑤③-2层，水量丰富，从而使得本场地内微承压含水层受承压水直接补给。

承压水：

本场地承压水赋存于第⑦层、⑨层砂土中。第⑦层、⑨层分别为上海市统编第I、II承压含水层，赋存地下水水量丰富。拟建场地第I、II承压含水层大部分区域直接相连。正常地层分布区承压含水层总厚度大于70m，古河道地层分布区承压含水层总厚度大于40m~60m。

2 工程的难点与解决措施

2.1 成槽宽度深度大，地质条件复杂

根据开挖深度、地质条件和周边环境情况，开挖37米深1a-4区支护的地下连续墙采用宽度为1.5米，深度60米，抓斗的方式成槽，成槽地层范围上部30米在淤泥质黏土层，下部30米在砂层内，对于泥浆槽壁的稳定、导向槽的稳

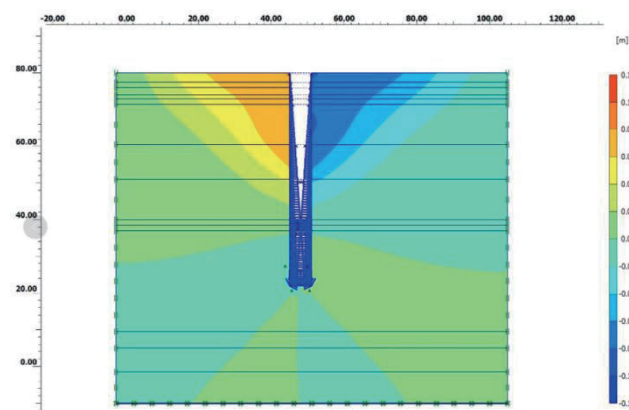


图2 泥浆液面高度距离地面0.3m

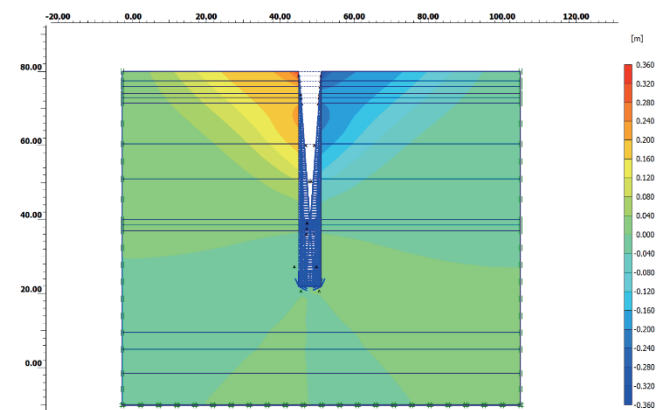


图3 泥浆液面高度距离地面1.0m

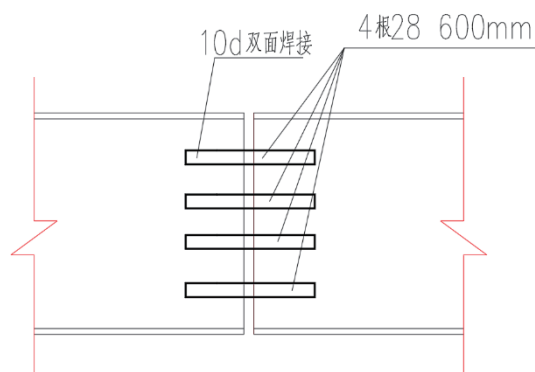


图4 1500墙H型钢拼接大样

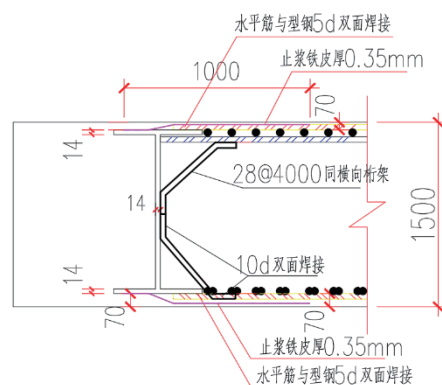


图5 1500墙H型钢接头连接

定性是本工程成槽的难点。

针对上述的难点，主要采取的措施如下：

按泥浆比重1.05进行槽壁稳定性验算并采用有限元分析，计算结果如图2图3，采用1.05的新浆满足要求，但需要控制泥浆液面高度，保证泥浆平衡。（见图2、3）

在施工前做槽壁稳定性试验，成槽后静止12h和24h，静止时间与槽底沉渣的关系，可以看出当成槽后泥浆静止16小时后有明显的坍塌骤增趋势，说明泥浆开始离析，槽壁稳定性安全系数降低，需要增加泥浆的粘度和减少空槽时间，在16小时内完成浇筑。

采用充分熟化膨润土：NV-1钠基膨润土粉；分散剂： Na_2CO_3 或 NaHCO_3 ；增粘剂：钠羧甲基纤维素（CMC），新制泥浆比重为1.05，含砂率不得大于1%，粘度不得小于22s。

2.2 刚性接头施工措施难度大

地墙接头采用14厚的H型钢，宽度1490mm，长度60m，在浇筑混凝土时，混凝土的侧压力及冲击力极易使H型钢发生变形，导致链接幅地下连续墙钢筋笼难以下放，产生工程质量事故。

本工程墙顶标高与自然地面标高有5米的高差，为节约工程整体造价，H型钢接头未到自然地面，给混凝土的浇筑以及接头的处理制造了很大的难度。

针对上述难题，采用的H型钢为半成品（12m）现场安装，焊接焊缝 $\geq 8\text{mm}$ ，焊缝需饱满，H型钢为确保焊接质量采用工厂加工，现场拼接形式，焊缝饱满度及十字钢板焊接平整度需经验收合格。

H型钢连接处采用4根600mm长直径为28的钢筋，采用10d的双面焊接形式，如图4；接头与钢筋笼的链接采用直径为28的U型筋，间距4.0m与行架筋链接，如图5。

上空槽段5米，采用12mm厚的工字钢，工字钢下部采用20mm厚的钢板和28螺纹钢焊接成的开口式特制挡板

2.3 墙体垂直度要求高

本工程地下连续墙采用两墙合一的形式，地下连续墙垂直度要求为1/500，对槽深60m，宽度为1.5m的地下连续墙施工提出的要求较高，超深地下连续墙成槽精度不足时无法满足验收条件，同时也容易造成卡住钢筋笼等质量事故。

合理的进行尺寸外放，外放的依据为设计的变形量+设备的垂直精度，本工程外放尺寸为8CM，槽壁加固是地下连续墙垂直度的关键，由于三轴槽壁加固的施工设备精度为

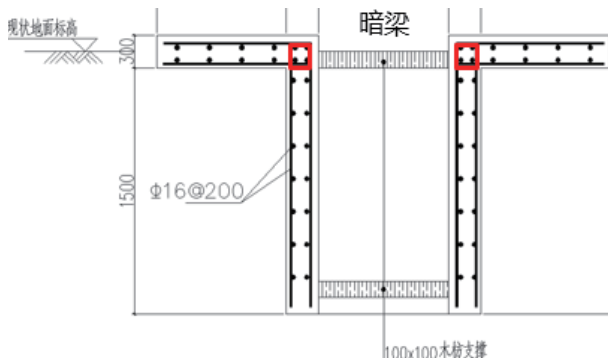


图6 导墙大样图

1/200，故在整体外放的基础上，基坑内侧外放7cm，外侧外放8cm，以满足垂直的要求，同时在三轴搅拌桩施工时，测量员在X，Y两个方向对三轴搅拌桩的炮筒进行校正。

确保导墙的垂直度以及刚度，减少初斗的偏差，导墙的加强处理，导墙上翼板宽度900mm，厚300mm，深1800mm；配筋为双层双向 $\Phi 16@200$ ，暗梁箍筋 $\Phi 16@200$ ；导墙之间采用100x100木枋支撑，间距2000mm（重车过路处导墙采用砖砌支撑），如图6。

在成槽过程中，分别在抓槽到20m、40m和60m三处深度时做三次超声波检测，当测得不满足垂直度要求时，及时进行纠偏。

2.4 发生事故处理难度大

工程最重的一幅地下连续墙钢筋笼总重量65.7T，在下放钢筋笼时，一旦发生质量事故，在处理时难度非常大，故在施工前针对成槽机卡抓斗和钢筋笼卡住槽段内的措施必须落实到位。

预防为主，预防的主要施工关键技术是：槽壁加固质量的控制，合理的尺寸外放，泥浆质量的控制（优质膨润土、泥浆性能指标、泥浆液面高度）；成槽司机、成槽后超声波检测（20m测一次，成槽到设计标高一次）；当发生卡抓斗时采用特制锚钩，拉斗体两耳朵，用两吊车同时代力，或配顶拔机；钢筋笼对接时尽量减少时间，同时控制钢垂直度（测搁置点水平复测）；吊车上放钢筋笼时，起重司索信号工对吨位把控，当下降30%时，停止下放；100%换浆、清底采用最先进的刷壁一体机控制沉渣厚度；当地下连续墙钢筋笼上不来下不去，返循环清底将笼子拉起，拉不起时对接头的H型钢做加固处理并采用顶拔机顶H型钢，如图11所示。

3 施工阶段的数据分析

采取上述关键技术施工时，主要的检测手段是地下连续墙成槽时的超声波，在验收和数据整理时，上述采取的关键措施，能够有效的保证超深超厚复杂地下连续墙施工质量，满足设计及施工的要求，超声波检测结果（设计深度60m，实测60.2，设计宽度1500mm，实测1502mm）。

4 结语

本文对浦东机场T3航站楼交通枢纽项目深基坑工程的超深地下连续墙施工中遇到的难点进行详细的说明，如成槽宽度深度大，地质条件复杂、刚性接头施工措施难度大、墙体垂直度要求高、发生事故处理难度大等难点；经过理论计算与现场试验最终确定了针对难点的改进实施措施，有效的解决了超深超宽地下连续墙在复杂地层中的施工难题，提出了关键技术，为今后类似工程施工提供依据和参考。

参考文献：

- [1] 李建高, 王长虹. 超深地下连续墙槽壁稳定性分析与施工措施, 隧道建设, 2011, 2-1.
- [2] 张益明. “两墙合一”的地下连续墙施工关键技术研究, 建筑施工 2018 (040) 002.
- [3] 吴伟军. 超宽、超深地下连续墙施工技术. 建筑施工, 2006, (5): 344 ~ 348.