

# 跨河围堰内明挖隧道地下连续墙施工技术

袁伟

中铁二十局集团第一工程有限公司

**摘要:** 跨河明挖隧道施工时, 考虑河道范围的水压力较大, 一般采用地下连续墙作为其围护结构的形式, 地下连续墙在围堰内施工时, 施工难度和危险性都很大, 对围堰的安全影响较大, 但经过对地下连续墙施工过程中各个工艺节点的精确把控, 并辅以各种监测保障手段, 在施工中加强了信息化的施工控制, 从而保证地下连续墙施工时围堰的安全不受影响, 确保施工顺利进行。

**关键词:** 跨河; 围堰内; 明挖隧道; 地下连续墙; 施工

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.07.021

**引言:** 地下连续墙是深基坑地下工程中常见的一种围护形式, 它因其工效高、工期短、工程质量可靠、安全性高而被广泛应用。但是, 在有些市政工程中, 一些在跨河明挖隧道施工的地连墙会对围堰的安全性带来一定的挑战。所以, 在地连墙施工过程中, 如何保证水中围堰的安全性不受影响, 有必要对围堰内的地连墙的施工技术进行探讨和研究。结合本项目实际施工情况以及后期开挖后出现的问题, 总结围堰内的地连墙的施工技术和对于后期出现的问题所采取对应的措施, 为类似工程的施工提供借鉴参考。

## 一、工程概况

独墅湖第二通道为沟通吴中区与苏州工业园区交通的城市主干道, 也是独墅湖大道及中环南线(南湖路东延)的分流通道, 同时兼顾部分过境交通。独墅湖第二通道西接东方大道, 以隧道形式向东下穿苏申外港、独墅岛和独墅湖以及万寿街后接创苑路, 同时在吴中区醒湖路设置一对出入口匝道。项目总长3.93公里, 主线隧道采用城市主干道标准设计, 双向六车道, 匝道采用双向两车道。

隧道以Z XK0+420为界, 以西为一标段(吴中区间), 以东为二标段(工业园区段)。一标段吴中区间: 主线总长1103米, 匝道830米。苏申外港段隧道主线及匝道隧道, 两侧钢管桩围堰, 主线隧道基坑支护采用地下连续墙。基坑开挖最大深度26.2m。

### (一) 地下连续墙的设计概况

苏州独墅湖第二通道明开挖施工地连墙, 地连墙一共291幅, 本项目大部分区段的隧道结构基坑围护采用连续墙+内支撑的形式, 连续墙厚度为800mm、1000mm和1200mm, 墙深为27m-52.4m之间, 其中“一”字型墙有259幅、“L”型墙有16幅、“T”字型墙有16幅。

### (二) 施工难度分析

(1) 地下连续墙在跨河围堰内施工, 由于地连墙成槽后, 会对围堰内外的地下水产生一定的影响, 从而对已经打设完成的围堰的施工造成一定的安全隐患, 而

目前国内缺乏相同类型施工经验可参考, 因此怎样减少施工过程对围堰的安全危害, 并保证地墙能顺利实施成了本次施工能否成功进行的关键问题。

## 二、导墙施工

由于河床范围的淤泥层较厚, 所以对于本项目地连墙的导墙施工环境比较差, 大部分导墙位置的土质稳定性比较差, 做之前须进行土质换填, 然后采用三轴水泥搅拌桩进行槽壁加固。槽壁加固深度为20米, 这样做可有效保证地下微承压水的相对稳定, 同时也能确保粉砂层开挖施工时槽壁的相对稳定, 导墙施工流程: 场地淤泥土换填-场地平整-三轴搅拌桩槽壁加固-导墙放线-导墙开挖-钢筋制作和安装-模板安装-砼浇筑。

(1) 导墙换填时务必进行分层夯实, 考虑新老土层更好的衔接, 采用台阶法分层碾压, 且导墙外侧加宽50mm。

(2) 三轴水泥搅拌桩槽壁加固采用连续套打型式, 最大允许偏差为±20mm;

(3) 导墙的内外线型应与所要施工的地墙轴线平行, 且允许偏差不得大于相关规范的要求, 同时外放尺寸便于现场进行施工控制。

(4) 现浇钢筋混凝土导墙拆模以后, 将已经施工完成的导墙内部进行回填, 且回填的高度略高于导墙顶面, 不得在导墙旁边堆载或者有超大设备移动引起的动荷载, 防止导墙及其覆盖范围的土体发生挤压位移, 引起线型误差变大。

(5) 导墙一边一般是连接的便道, 做便道时, 需将便道钢筋进行预留, 导墙钢筋施工时, 必须把导墙钢筋和便道钢筋连接, 以防止导墙坍塌。

## 三、泥浆生产

(1) 泥浆系统主要控制泥浆比重, 含沙率, 黏度, 新浆的泥浆比重不大于1.15, 含沙率小于4%, 黏度在24-30秒之间, 对于循环泥浆比重在1.15-1.25之间, 含沙率在4%左右, 黏度在24-35秒之间。泥浆护壁对于地连墙的质量和安全性有着很高的重要性。暂停成槽施工时, 应保持槽内泥浆循环。

(2) 成槽过程中, 对槽内泥浆定时检查, 不合格的及时更换。

## 四、成槽施工

(1) 地连墙槽段有“一”“L”“T”形, 成槽时应跳槽段开挖方法, 标准槽段(6m)采用“三抓法成槽”, 先抓两侧土体, 在抓中心土体。

(2) 成槽机的挖掘速度不宜过快, 以防槽壁失稳, 造成塌方, 如果某个开挖槽墙开挖结束, 或者暂停开挖时, 可先将成槽机移动至槽壁一定的安全距离, 以免重载作用下加大了塌槽的风险。

(3) 成槽完成时, 应对槽内有型钢一侧进行刷

壁，刷壁次数大概20次左右（看刷壁上是否有泥土来判断是否刷干净），如果刷不够次数，就会造成两幅墙之间有夹泥，可能会造成严重的渗漏现象。

(4) 成槽开挖施工时，必须保证成槽机保持垂直状态，发现便宜及时纠正。

(5) 槽段开挖完成后的质量标准：a、倾斜度不得大于1/300；b、连续墙槽段长度允许偏差 50mm；c、槽段厚度允许偏差：10mm



图一：跨河围堰内地墙现场施工图片

#### (6) 成槽质量检验

成槽施工完成后，要根据设计图纸的相关尺寸参数进行现场检查，包括采用测绳进行槽深测量、超声波探测仪进行成槽完整性及垂直度的检测等；

### 五、地墙钢筋笼加工与吊装

(1) 钢筋笼加工区需用混凝土进行硬化，以此保证加工平台的平整度，加工平台要比笼长大5m左右，平整度（横平竖直），现场制作的钢筋平台长度48m，旁边需加工2-3m的下一副钢筋笼的钢筋堆放，以加快速度。

(2) 钢筋笼加工和吊装加固：钢筋笼按照设计长度、宽度、厚度、配筋型号进行加工制作，钢筋笼底部按照设计图纸要求的长度范围内作收口处理，同时根据笼长纵向应设置相应的桁架筋，纵向桁架筋间距不大于1.5m，其中两幅起吊主桁架，2幅副桁架，钢筋笼制作吊装加固措施结合设计要求增加桁架根数，确保吊装安全。

(3) 型钢的焊接：地下连续墙采用厚度20mm的钢板作为H型钢接头，H型钢接头需先焊接成型， $hf \geq 10mm$ ，再将工字钢架空固定在钢筋笼平台两侧的胎模上，之后将钢筋笼分布筋焊接在工字钢翼缘上， $hf$ 不小于10mm，分布筋与翼缘板间采用双面满焊，封口钢筋与水平筋采用单面焊接，焊缝长度需满足图纸及规范的要求，确保H型钢和钢筋笼组成的受力整体可靠牢固，有利于施工吊装安全。

(4) 地墙钢筋笼连接加工：加工时纵向钢筋及横向水平钢筋在搭接部位必须焊接，主筋接头采用直螺纹套筒机械连接，控制左右两边钢筋漏出的丝头不超过两个丝，横向钢筋焊接采用单面焊，搭接长度及接头位置严格满足图纸及规范要求，且同一区段机械连接接头严格控制不超过50%的百分率，搭接错位及接头检验应满足钢筋混凝土规范要求。纵横向受力筋在相交处进行焊

接连接，钢筋笼槽段两端竖向主筋与横向水平筋相交处必须至少有5根以上满焊连接，所有的交点要求全部点焊；水平筋和纵向桁架交点、竖向主筋和横向桁架的交点都必须全部点焊，其他交点一半点焊即可。

(5) 钢筋笼起吊及入槽：钢筋笼起吊前，要先自检合格，然后报请监理单位进行验收、检验符合要求后，监理单位签发钢筋笼吊装令，起吊准备工作阶段，首先应安排专人对笼体一周进行巡视，检查笼内是否存留有废钢筋头及各种施工垃圾等遗留物，并清理干净，异形钢筋笼在钢筋平台上进行加工拼装，为了增强异形笼的整体刚度，采用成45度角的斜筋进行钢筋笼的加固和支撑，钢筋笼吊装施工应对施工班组进行教育培训及安全交底，并有签到表及相关影像资料，钢筋笼起吊施工时，专职的安全员及司索工必须全数在场，过程中以主机起重指挥为主，副吊主要是配合好主机起重指挥，确保钢筋笼在吊装过程中合理受力，钢筋笼吊装时，先由主副履带吊将其进行同步抬吊离地面半米左右，到达一定高度后，钢筋笼受力稳定，副机配合主机进行钢筋笼吊装回直，加强钢筋笼整体稳定的安全技术措施：a、各个焊缝需进行详细的检查，按照设计图纸要求进行焊缝探伤检测；b、现场的专职安全人员，在钢筋笼吊装过程中必须到场全程旁站监督，符合安全的吊装条件后才可正式吊放。

### 六、砼浇筑

(1) 钢筋笼安装到位后应及时灌注混凝土，时间间隔不能超过4小时，以防造成槽内塌孔。

(2) 封底混凝土的量要保证导管埋置深度不小于半米，同时导管的埋深，相邻两导管混凝土高差不应大于50cm。

(3) 灌注混凝土过程中，速度要稳定，且要均匀连续浇灌，导管的提升速度宜控制在4m及5m/h，因故中断不得超过30min。

(4) 混凝土灌注要及时做好各项记录，灌注过程及时测量混凝土面的上升高度，准确计算拔导管的长度和数量。置换处的泥浆应及时外弃处理，避免污染；

(5) 混凝土最终的灌注高度应比设计标高高80cm，以保证表层浮浆凿除后墙顶混凝土强度能达到设计要求。

### 七、地连墙相关质量问题的防治措施

地下连续墙施工完成后出现的一些问题，如地连墙渗水，地连墙倾斜，预埋接驳器位置有误差、土方开挖困难、主体钢筋无错开连接（地连墙预埋钢板）等问题采取以下措施及做法。

#### 1. 深度方向倾斜的预防措施

地下连续墙在成槽开挖过程中，易出现槽段沿深度方向发生偏斜，垂直度超过规定数值；导致基坑开挖后相邻地下墙段之间凹凸不平；部分墙面存在露筋问题。因此，在过程中应做好防止槽墙沿深度方向的发生倾斜的预防措施：

(1) 地下连续墙成槽采用液压抓斗成槽机，在作业过程中，抓斗应竖直向下，缓慢入槽抓土，保持抓斗

钢丝绳始终处于受力状态，严禁飞速下斗，过快提升。

(2) 现场施工成槽机之前，需调整好成槽机的抓斗装置，应保持水平，预防偏心。

(3) 成槽机在有硬质岩层的地方钻进时，可采用冲击钻或者双轮铣进行硬质地层的开槽施工，发现有倾斜度的软硬地层交界处时，宜采用低速钻进；

(4) 利用好成槽机上的自动倾斜纠偏装置，一旦发现施工过程槽壁有倾斜，马上启动纠偏操作，不要将小的隐患拖成大的质量事故。

### 2. 槽段防坍塌的预防措施

成槽机操作手和现场值班管理人员应严密关注成槽进尺情况，发现槽壁塌方，应暂停开挖，并将泥浆加至最高液面，待进一步分析原因后并采取相适应的措施：

(1) 成槽作业前，选用护壁质量良好的泥浆，并根据实际情况合理选用外加剂，调整泥浆指标，以适应其变化，确保槽段在成槽过程中土壁稳定，

(2) 作业中要防止泥浆漏失并及时补充，始终维持泥浆液面高度，保证泥浆液面比地下水位高不少于2米。

(3) 雨天进行开槽施工时，为了避免雨水对泥浆浓度的影响，可采用彩条布将槽口进行覆盖，且加大泥浆性能的检测频率，及时对泥浆参数进行调整。

(4) 在施工生产中要严格控制槽壁两侧6米范围地面的堆载，以免槽壁因为两侧土体的堆载过高而发生坍塌等不利危险情况。

(5) 成槽见底后需进行泥浆循环并进行清孔，吊放钢筋笼、放置导管等工作，经现场监理检查验收合格后，方可浇注水下混凝土，尽可能的减小槽壁的暴露时间。

(6) 吊放钢筋笼的过程应做到缓慢、细致、平稳、准确，防止因钢筋笼下放过程不平衡刮蹭槽壁而导致槽壁坍方。

(7) 如果发生局部坍塌，则可通过提高泥浆密度及顶标高，已塌土体可用成槽机直接抓取。若发生严重坍塌事故，应将成槽机移动至旁边安全的地带，采用优质的黏土并掺入20%水泥进行回填，待沉降稳定后再进行抓取。

(8) 如遇到地下水位过高时，可以对地连墙周围进行槽壁降水，

### 3. 钢筋笼内预埋钢筋连接器，预埋钢板保证措施

(1) 在做地连墙预埋之前，应熟悉好图纸，看钢支撑（预埋钢板）的位置是否影响土方开挖和主体结构施工，如有问题，及时与设计及监理单位沟通，调整钢支撑（预埋钢板）的位置。

(2) 腰梁位置的接驳器，按照设计图纸的预埋要求，精确控制其位置及标高，按照接驳器范围中心在钢筋笼上的标高，及时做好记号并再次去加强。

(3) 精确测设地墙的导墙顶标高及施工线型，根据导墙的顶面标高，精准确定吊筋的长度，严格按照分幅设计线来控制施工时平面位置。

(4) 钢筋笼制作前应先胎架上画好中线，根据

此中心线及端头线的位置，来进行预埋钢板及接驳器的准确定位。钢筋笼吊放时尽量使中心线与导墙的中收线保持一致，且应确保所有预埋件的位置准确，对车好的丝口做好验收，丝口需用橡胶帽封口，防止生锈；钢筋笼在准备下放过程中，及时对预埋钢板的位置进行确认。

### 4. 型钢止水接头处混凝土绕流的预防措施

地连墙水下混凝土灌注过程中产生绕流现象的主要原因如下：泥浆的性能指标达不到预期的要求、泥浆液面高度不足引起压差不够、地墙成槽后的槽壁平整度及垂直度较差、导管下放后等待灌注的时间过长、钢筋笼未到底、型钢一侧未保护到位等。

根据以上的成因分析，拟采取下列相应措施来进行混凝土绕流的预防：

(1) 成槽施工时，严格控制槽内的泥浆液面的高程，液面下降时，要及时进行补浆措施，一定的泥浆高度所形成的压力对确保槽壁体系的稳固尤为重要。

(2) 现场要因地制宜，依据不同的水文地质条件选择匹配的泥浆参数，同时要保证泥浆的各种性能，以此来保证泥浆的护壁效果。

(3) 加大成槽过程中机械姿态的控制，正确利用成槽机自身的垂直度控制系统，时刻监控开槽的垂直度情况，发现偏斜后及时对机械的倾角进行修正，调整到位后方可继续开槽。

(4) 严格按照评审后的吊装方案进行吊点的布置，避免因吊点位置的布置混乱导致钢筋笼起吊过程中发生纵向弯曲变形，钢筋笼入槽时，需保持垂直状态。

(5) 成槽施工过程中要及时控制成槽深度，以免因超挖造成地连墙注浆接头管悬空或插入深度不足。

(6) 成槽开挖时两头适当放宽0.5m的余量，保证止水型钢能顺利的下放到槽底，并插入槽底土至少10cm，确保灌注混凝土不会从槽底反绕。

(7) 成槽长度务必要多开挖30-50cm，用于填土袋或插入锁扣管，型钢一侧务必要用土袋填实，并填筑高度与型钢标高一致。

## 八、结束语

现阶段地下连续墙运用比较广泛，多用于穿湖、穿河隧道，地铁的建设等。结合本项目的现场工程实例，总结了围堰内地连墙的施工技术以及地连墙施工过程中对每个环节的过程控制，可以减少施工不当对围堰的安全影响；为今后类似地连墙施工提供重要的控制要点和施工经验。

### 参考文献

[1] 陈金刚. 多层承压水厚砂层中地连墙施工关键技术[J]. 科技和产业, 2022, 22(11).

[2] 王启云; 林华明; 深厚软弱地层地下连续墙槽壁稳定性分析[J]. 科技技术与工程, 2022(35).

[3] 李建高; 超深地下连续墙槽壁稳定分析与施工措施[J]. 隧道建设, 2011(01).

[4] 聂大理; 欧阳鹏; 砂质地层下地连墙施工的防塌孔措施[J]. 云南水力发电, 2022(09).