

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2023.10.040

软土-花岗岩地层地下连续墙施工工艺研究

袁习奎¹, 万魁元¹, 任 辉², 刘飞飞²

(1.广东长正建设有限公司, 广东 珠海 519000; 2.珠海市轨道交通有限公司, 广东 珠海 519000)

摘 要: 珠海隧道东岸工作井及挂锭角西侧明挖段基坑场地内上部主要为淤泥层, 下部主要为中风化和微风化花岗岩层, 基岩强度高, 且岩层起伏较大。基坑支护采用地下连续墙, 但在其施工过程中成槽难度大。为保证地下连续墙施工进度和成槽质量, 采取不同机械设备组合进行比选, 最后选择了适合软土-花岗岩地层中地下连续墙成槽的“旋挖钻+双轮铣”机械组合。实践结果表明, 所选用的成槽施工工艺能有效提高地下连续墙施工工效和成槽质量。

关键词: 地下连续墙; 旋挖钻+双轮铣; 施工工艺; 花岗岩层

中图分类号: U455.4

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)10-0155-05

0 引 言

地下连续墙结构刚度大, 整体性好, 结构变形较小, 且同时可作为基坑围护结构和主体结构, 在明挖基坑已经得到了广泛的应用。地下连续墙是基坑围护结构施工中的重要步骤。目前, 地下连续墙施工常用设备主要有传统的液压式抓斗成槽机 (大多需钻机配合) 和新兴的双轮铣槽机。传统的液压式抓斗成槽机在入岩段无法独自成槽, 大多需要钻机配合施工^[1]。在地下连续墙成槽施工过程中, 许多学者提出了不同的成槽施工工艺。宗春华^[2]通过对坚硬岩层内地下连续墙成槽工艺的比选, 总结出潜孔锤+铣槽机组合施工工艺可满足坚硬岩层内的地下连续墙成槽施工。邹俊峰等^[3]通过硬岩地下连续墙施工实践, 总结出潜孔锤跟管咬合引孔成槽施工技术, 其成槽速度快, 成槽质量好。刘钢立等^[4]通过比较 4 种适合深厚淤泥覆盖下高强度硬岩复杂地质条件的施工方案, 总结出在岩石地层中采用旋挖钻机成孔方案较为适宜。除此之外, 针对不同地层中地下连续墙的成槽施工工艺, 国内部分学者结合工程地质分布情况, 提出了不同的地下连续墙成槽施工工艺^[5-9], 都在实际工程中取得了良好的应用效果。

珠海隧道东岸工作井及挂锭角以西明挖段场地东侧为挂锭角山体, 西侧为磨刀门水道。上部主要为流塑态淤泥层; 下部主要为坚硬花岗岩层, 最大强度

达到 151 MPa, 岩面走向由东向西逐渐降低。本文以珠海隧道东岸工作井及挂锭角以西明挖段地下连续墙施工为背景, 针对临山临海区域内复杂地质条件下地下连续墙成槽施工工艺机械设备组合进行比选。选择一套适合软土-花岗岩地层中的成槽机械设备, 在保证施工效率的同时提高施工经济效益, 是本工程的一大技术难点。

1 工程概况

珠海隧道东岸工作井及挂锭角西侧明挖段位于珠海市珠海大桥南侧、挂锭角山体西侧, 临近磨刀门水道。东岸工作井基坑长 20 m、深 25.740 m; 明挖段全长 147 m, 基坑深 18.18~22.036 m。东岸工作井及明挖段 DA01~DA03 节段采用地下连续墙+内支撑支护形式 (见图 1), 其中东岸工作井采用厚 1.2 m 地下连续墙, DA01~DA03 节段采用厚 1.0 m 地下连续墙, 共计 50 幅, 其主要参数见表 1。

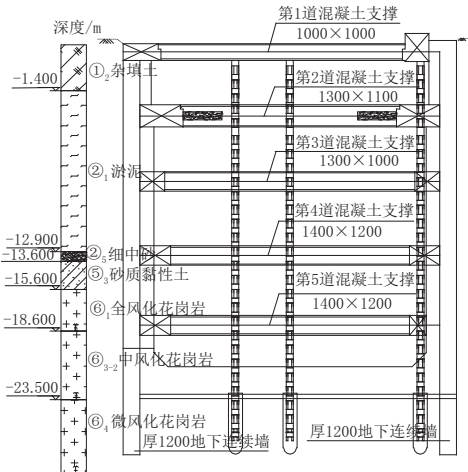


图 1 地下连续墙断面图 (单位: mm)

收稿日期: 2022-12-07

作者简介: 袁习奎(1988—), 男, 学士, 工程师, 从事市政工程施工工作。

表 1 设计主要参数表

部位	围护结构形式	入岩要求
东岸工作井	厚 1.2 m 地下连续墙	嵌入坑底 3.0 m(4.0 m)且嵌入⑥ ₋₃₋₂ 中风化花岗岩不小于 3.0 m(4.0 m)
DA01	厚 1.0 m 地下连续墙	
DA02	厚 1.0 m 地下连续墙	一般情况下,硬塑及全风化层不小于 6 m,强风化层不小于 4 m,中风化层不小于 2.5 m,微风化层不小于 1.5 m
DA03	厚 1.0 m 地下连续墙	

2 工程及水文地质

2.1 工程地质

场地属海陆交互相沉积地貌区,上部以第四系填土、冲海积淤泥、细中砂及含碎石粗砂为主,中部以花岗岩残积土为主,下部基岩为花岗岩。主要地层有①₋₁素填土、①₋₂杂填土、①₋₄填砂、②₋₁淤泥、②₋₅细中砂、③₋₃含碎石粗砂、⑤₋₃砾砂、⑥₋₁全风化花岗岩、⑥₋₂₋₂碎块状强风化花岗岩、⑥₋₃₋₁中风化花岗岩、⑥₋₃₋₂中风化花岗岩、⑥₋₄微风化花岗岩。

2.2 水文地质

场地地下水类型属潜水,根据其赋存方式分为:(1)第四系土层孔隙潜水;(2)第四系松散岩类孔隙承压水;(3)基岩裂隙承压水。承压水主要赋存于②₋₅细中砂、③₋₃含碎石粗砂层中,测得承压水位标高为 0.26~0.34 m(设计文件中建议承压水水位标高均按 0.5 m 考虑)。

3 施工工艺及存在问题

3.1 成槽机 + 冲击钻

3.1.1 施工工艺

采取常规“成槽机 + 冲击钻”的组合进行地下连续墙的成槽。单幅槽段配备 1 台成槽机 + 2 台冲击钻。

主要施工工艺:采用成槽机抓取上部的素填土、杂填土、淤泥层、全风化及强风化花岗岩层;然后采用冲击钻对下部中风化及微风化花岗岩层冲击成孔。

单幅槽段布置 9 个引孔,主孔间距 0.75 m;主孔采用冲击钻机冲击成孔,先施工 1#、3#、5#、7#、9# 孔,再施工 2#、4#、6#、8# 孔;主孔施工完成后,采用方锤修整。

“成槽机 + 冲击钻”施工工艺下,地下连续墙主副孔布置图见图 2。

3.1.2 存在问题

(1)进入中风化及微风化花岗岩层后,因基岩强

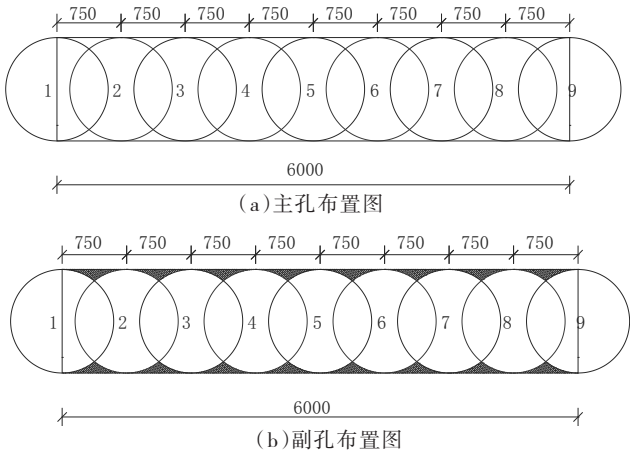


图 2 “成槽机 + 冲击钻”施工工艺下的地下连续墙主副孔布置图(单位:mm)

度较高,致使锤头磨损较大(见图 3),锤头下部截面因磨损变小,易卡于基岩内,锤头上提困难,从而造成卡钻情况。



图 3 锤头磨损

(2)槽段内基岩起伏较大,且局部基岩存在裂隙,进入基岩后,成孔过程中易出现严重偏孔现象。此时需反复回填片石,而回填片石与原有基岩强度分布不均,会造成二次偏孔。特别是 W2 槽段,回填片石后出现了二次偏孔,且无法修复。

(3)锤头受到磨损后,需反复提升进行补焊或更换新的锤牙。根据 W2、W6、W8 槽段施工情况统计,平均每冲孔 45 min 就需进行锤牙补焊或更换新的锤牙(见图 4)。修复锤牙要消耗大量时间,造成施工进度缓慢。



图 4 锤牙修复

3.2 旋挖钻 + 冲击钻

3.2.1 施工工艺

单幅槽段配备 1 台 TR360 型旋挖钻机 + 2 台冲击钻机配方锤进行成槽施工,其中 2 台冲击钻机共同抬吊方锤。

单幅槽段布置 6 个引孔,主孔间距 1.2 m;引孔采用旋挖钻施工,引孔施工完成后,施工至入岩段后采用方锤修整。

“旋挖钻 + 冲击钻”施工工艺下,地下连续墙主副孔布置图见图 5。

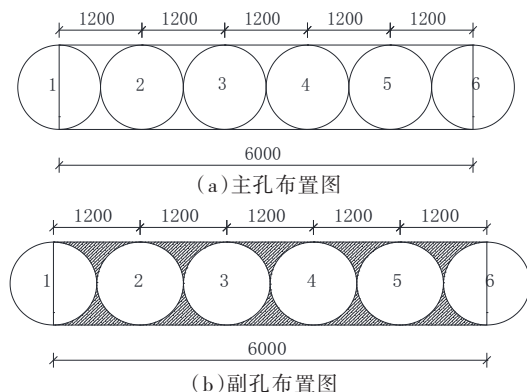


图 5 “旋挖钻 + 冲击钻”施工工艺下的地下连续墙主副孔布置图(单位:mm)

3.2.2 存在问题

(1)方锤重 17 t,需 2 台冲击钻机同时抬吊进行副孔修整。施工过程中,同步协调困难,对施工作业人员要求较高。

(2)基岩强度较高,方锤锤头磨损较大,且锤牙变形严重(见图 6)。



图 6 方锤损坏变形

3.3 潜孔锤 + 冲击钻

3.3.1 施工工艺

潜孔锤(见图 7)原理是靠自身的配气系统使压缩空气交替进入活塞(冲锤)的前后气室,使活塞连续作往复运动,当活塞向下运动到终点时,冲击锤头尾部,利用锤头下端的硬质合金球齿破碎岩石。

单幅槽段配备 1 台潜孔锤 + 2 台冲击钻机配方锤进行成槽施工,其中 2 台冲击钻机共同抬吊方锤。

施工工艺同“旋挖钻 + 冲击钻”,采用潜孔锤进行主孔成孔施工。在潜孔锤成孔施工作业过程中,发



图 7 潜孔锤

现潜孔锤能有效破碎中风化花岗岩及微风化花岗岩,平均进尺速度为 2 m/min,实际成孔工效较旋挖钻机成孔有明显效果。

3.3.2 存在问题

(1)场地内地下水较丰富,潜孔锤无法满足有水区域内的成孔施工。当空压机停止供气后,孔内水易回灌至潜孔锤活塞缸体内,造成潜孔锤钻头缸体的损坏。

(2)潜孔锤无导向杆,施工过程中无法定位,钻杆摆臂严重,易造成偏孔情况。

(3)潜孔锤钻头不适用于地质不均地层。当潜孔锤钻头受力不均后,易发生偏孔,严重时易发生钻头破损。

(4)潜孔锤施工过程中,施工噪音较大,且在成孔过程中,孔内的泥浆及破碎的碎石随着孔壁喷溅至地面,现场安全文明施工程度较差(见图 8)。



图 8 潜孔锤成孔施工现场

3.4 旋挖钻 + 双轮铣

3.4.1 施工工艺

单幅槽段布置 5 个引孔,主孔间距 1.5 m;引孔采用旋挖钻(金泰 SH32A)施工,引孔施工完成后,施

工至入岩段后采用双轮铣(金泰 SX40A 和土力 SC-130)施工,双轮铣的宽度均为 2.8 m,1 幅槽段分 3 刀,先两边后中间。

“旋挖钻+双轮铣”施工工艺下,地下连续墙主副孔布置图见图 9。

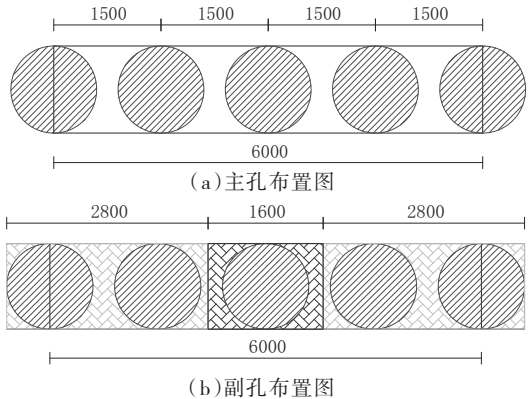


图 9 “旋挖钻+双轮铣”施工工艺下的地下连续墙主副孔布置图(单位:mm)

3.4.2 存在问题

双轮铣进入基岩后,通过施工槽段的统计,平均单幅槽段每隔 45 min 就需要检查双轮铣截齿磨损情况,检查发现大量截齿磨损严重(见图 10),需频繁更换截齿,造成施工工效降低。对地下连续墙成槽过程中双轮铣截齿的统计表明,单幅地下连续墙成槽平均消耗截齿 1 200 副,单幅地下连续成槽最高消耗截齿 2 700 副,造成施工成本增加。



图 10 双轮铣截齿磨损

4 成槽施工工艺比较

4.1 成槽工效

4.1.1 成槽机+冲击钻

统计前期施工的 W2、W6、W8、DA01-08、DA01-10、DA02-02、DA02-07、DA03-08 槽段的成槽周期,结果见表 2。其中 W2 槽段偏孔严重,无法成槽;其他 7 个槽段的成槽周期平均达 48.6 d,成槽周期较长。由此可见,采用“成槽机+冲击钻”施工工艺

时,地下连续墙施工无法满足工期要求,且无法保证成槽质量要求。

表 2 前期地下连续墙施工统计表

槽段号	开槽日期	成槽日期	成槽周期/d
W2	2021-01-07	未成槽	
W6	2021-01-03	2021-03-03	59
W8	2020-12-27	2021-02-10	45
DA01-08	2021-03-16	2021-05-01	46
DA01-10	2021-03-21	2021-05-09	49
DA02-02	2021-03-19	2021-05-06	48
DA02-07	2021-03-05	2021-04-20	46
DA03-08	2021-03-13	2021-04-29	47
平均			48.6

4.1.2 旋挖钻+冲击钻

旋挖钻主孔引孔完成后,采取方锤修整副孔,在副孔未修整完成前,方锤锤牙变形严重,故无法统计单幅槽段成槽时间。

4.1.3 潜孔锤+冲击钻

潜孔锤无法满足有水地层中的成孔施工。

4.1.4 旋挖钻+双轮铣

对调整施工工艺为“旋挖钻+双轮铣”的 8 幅槽段成槽周期进行统计,结果见表 3。由表 3 可知,采用该施工工艺时的平均成槽周期为 11.9 d。

表 3 后期地下连续墙施工统计表

槽段号	成槽开始时间	成槽完成时间	成槽周期/d
DA01-04	2021-05-31	2021-06-13	13
DA02-09	2021-06-03	2021-06-15	12
DA02-05	2021-06-06	2021-06-19	13
DA03-06	2021-06-08	202-06-18	10
DA03-10	2021-07-03	2021-07-14	11
DA03-02	2021-07-08	2021-07-19	11
DA02-03	2021-07-11	2021-07-23	12
DA02-08	2021-07-13	2021-07-26	13
平均			11.9

针对施工工期的比较可见,4 种成槽施工工艺中,“旋挖钻+双轮铣”成槽施工工艺满足在软土-花岗岩地层中的成槽要求。

4.2 硬岩及斜岩处理措施

(1)在成槽施工工艺选择时,应提前进行地质补勘(见图 11),在原有墙位探明地层的分布与岩层的走向,以便为合理进行地下连续墙成槽设备选型提

供依据。



图 11 地质补勘

(2)处理硬岩和斜岩时,采用旋挖钻配捞砂钻对上部岩层进行切削。当钻至中风化花岗岩层时,将旋挖钻钻头更换为牙轮钻头(见图 12)正常钻进。牙轮钻头能有效切削强度较高的岩层(见图 13)。



图 12 牙轮钻头



图 13 旋挖钻取出芯样

5 结 语

(1)地下连续墙施工前,应进行详细的地质补勘,探明地层分布情况和基岩强度,以便为地下连续墙

成槽施工提供设备选型依据。

(2)潜孔锤对硬岩有良好的破碎效果,但不适用于有地下水地质条件或泥浆护壁条件下的成孔。若地下水较丰富或采用泥浆护壁成孔,则潜孔锤需配合全跟进套管或全转钻机进行成孔施工。采用潜孔锤成孔施工时,对于斜岩面,依然需要旋挖钻机配合。在潜孔锤施工过程中,应注意施工时间,避免因噪音污染影响连续施工,同时需要注意现场的安全文明施工。

(3)在基岩较厚且强度较高的地下连续墙施工中,应充分利用工作面,多点展开施工作业,同时需考虑钢筋笼制作,做好工序衔接,以保证施工进度。

(4)双轮铣在进入中风化和微风化花岗岩岩层中施工时,应根据旋挖钻机取出的芯样和双轮铣截齿损耗情况,合理选择双轮铣截齿;特别是针对基岩芯样完整地层,应选用强度更高的截齿,以减少截齿的损耗,节约施工成本。

(5)对比 4 种地下连续墙成槽施工工艺后发现,采用“旋挖钻+双轮铣”施工工艺适用于软土-花岗岩地质条件下的地下连续墙成槽施工,其施工效率较高,同时可保证地下连续墙的成槽质量。

参考文献:

- [1] 卢伟. “上软下硬”复合地层地下连续墙快速成槽施工关键技术[J]. 铁道科学与工程学报, 2020, 17(1): 174-180.
- [2] 宗春华. 坚硬岩层内地下连续墙成槽工艺的比选[J]. 建筑施工, 2018, 40(7): 1073-1075.
- [3] 邹俊峰, 雷斌, 尚增弟. 硬岩地下连续墙潜孔锤跟管咬合引孔成槽施工技术[J]. 施工技术(中英文), 2021, 50(19): 74-78.
- [4] 刘钢立, 曹东姣, 李新龙, 等. 淤泥覆盖下高强硬岩地下连续墙成槽技术研究[J]. 现代隧道技术, 2020, 57(增刊 1): 1283-1287.
- [5] 刘新乐, 姬建华, 王静波. 复杂条件下超大深基坑入岩地下连续墙关键施工技术[J]. 施工技术, 2020, 49(13): 76-80.
- [6] 罗反苏, 潘岸柳, 罗努银, 等. 软下硬的复杂地层中地下连续墙成槽施工技术[J]. 建筑施工, 2018, 40(6): 827-829.
- [7] 朱继红, 张文新, 张良辉. 海域围堰内复杂地质条件下连续墙施工技术[J]. 隧道建设(中英文), 2018, 38(9): 1554-1559.
- [8] 孟陈祥, 甘文爽, 万波, 等. 微风化岩层地下连续墙优质高效施工技术[J]. 施工技术(中英文), 2021, 50(19): 74-78.
- [9] 刘加峰. 双轮铣槽机在坚硬花岗岩地质条件下的地下连续墙施工应用[J]. 建筑施工, 2016, 38(2): 193-195.