

# Construction Technology of Diaphragm Wall through Irregular Boulders and Slope Rock Quickly

Zhi Li

China Railway Tunnel Group Co., Ltd., Guangzhou Guangdong  
Email: 2811652167@qq.com

Received: Apr. 16<sup>th</sup>, 2019; accepted: May 1<sup>st</sup>, 2019; published: May 8<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

This paper mainly introduces the construction experience obtained from the actual solution when the groove is difficult due to geological complexity in the actual groove forming process of a certain engineering site in Shantou. It is mainly discussed from the two aspects of machine tools and technical measures, and finally the rapid groove forming construction method in the top and bottom of the Shantou, which is hard and distributed in unspecified rock and slope rock formations.

## Keywords

Diaphragm Wall, Series-Wound Boulders, Slope Rock, Ways of Deviated Drilling

---

# 地下连续墙快速穿越不规则孤石及斜坡岩地层的施工技术

李志

中铁隧道局集团有限公司, 广东 广州  
Email: 2811652167@qq.com

收稿日期: 2019年4月16日; 录用日期: 2019年5月1日; 发布日期: 2019年5月8日

---

## 摘要

本文主要介绍在汕头某工程地连墙实际成槽过程中, 遇到因地质复杂造成成槽困难时的实际解决方案所

得的施工经验。主要是从机具及技术措施两方面进行讨论，最终得出在汕头这种上软下硬且分布有不规格孤石及斜坡岩地层中的快速成槽施工方法。

## 关键词

地下连续墙，串联孤石，斜坡岩，偏孔处理

Copyright © 2019 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

伴随着地下连续墙的兴起，它的使用数量与使用范围也越来越广，因施工地层的差异，施工难度也越来越大。在相关研究中已有类似介绍：文献[1]介绍了底部为岩石的地下连续墙采用冲锤与成槽机结合冲抓破岩成槽施工，较好地解决了基岩突起段地连墙成槽施工。文献[2]介绍了采用直接抓取成槽法与密集冲击成槽法结合的方法在保证成槽稳定，地表沉降小的要求下快速穿越沿海填石层的地连墙成槽方法。文献[3]介绍了采用槽壁机配合冲孔钻机一冲抓结合的方式穿越填土层和软土层，从而进行地下连续墙的施工成槽。解决了原先采用密集冲击成槽法，功效低、成槽周期大、槽壁稳定性差、扩孔塌孔严重的问题。文献[4]介绍了双轮铣槽机成槽技术可在岩石及类似地层中方便、快捷、高效地进行施工，并能保证质量。文献[5]介绍了在海域围堰内地层结构复杂的条件下，采用“槽壁预先加固、成槽机抓取软土、密集钻孔 + 冲锤冲击破碎孤石、旋挖钻机和成槽机钻抓配合挖除风化岩层、牙轮钻钻取斜面基岩”的施工工艺，并通过严格控制施工管理作业程序，实现平行作业，大幅提高连续墙施工效率。文献[6]介绍了在上部软土、中部砂层、下部强风化、中风化岩层岩石强度高及槽段内有大量潜在孤石的软硬差异大的复杂混合地层施工成槽困难，通过优化、改进形成了“成槽机抓取软土、冲锤往返冲击破碎法破除孤石、旋挖钻和成槽机钻抓配合挖除强风化岩、牙轮钻钻取斜面基岩等方法相组合成槽施工工艺”得到了有效解决。文献[7]对各类钻机配合抓斗成槽机施工地下入岩连续墙工艺特点进行调研总结，优化采用“旋挖钻机配合冲击钻机破碎岩层、成槽机取土成槽”的施工工艺，并采取主副孔引孔策略和针对不同地层灵活换用各类钻机并合理组织等方式，有效提高了成槽入岩施工效率。

本文主要就软体 - 串联孤石 - 斜坡岩等不良地质条件下地连墙成槽的器械组合以及施工组织相关经验进行探讨与研究，希望能对类似地层地连墙施工有所帮助。

## 2. 工程概况

广东省某项目盾构始发井及后配套段围护结构为地下连续墙，其地层地质条件复杂，场地范围内从上到下穿越地层主要为淤泥、中粗砂、粉质粘土、全风化花岗岩、强风化花岗岩、中风化花岗岩，其中软土层中夹杂高强度不规则串联孤石，下部硬岩多为高强度斜坡岩。经补勘，孤石强度约为 80 MPa~100 MPa，基岩强度约为 100 MPa~140 MPa，岩面起伏变化极大。

本工程将地下连续墙划分为 180 幅槽段，其中地连墙厚度有 1200 mm、1000 mm、800 mm 三种，深度最深为 44 m。部分段地连墙需下穿中风化岩层，设计按地连墙墙底嵌入中风化岩层不小于 1 m~2 m 控制，同时要求地连墙深入主体结构底板下不小于 2 m。

### 3. 不规则孤石及斜坡岩特点与难点

#### 3.1. 塌孔风险大

地连墙开挖地区为2年前填海所得,存在较厚的淤泥,淤泥地层长时间冲孔施工发生塌孔的风险极大。

#### 3.2. 成槽难度大

- 1) 孤石分布范围广,几乎所有地连墙成槽均遇到孤石。
- 2) 孤石埋深无规律,大部分分布在上部软土地层中且埋深较深,且多成串联分布,无法采取换填方式挖出。
- 3) 孤石形状各异、大小不一,最大8.1 m,最小0.4 m,普遍2 m~5 m,无法采取成槽机直接抓取
- 4) 孤石强度高达80 MPa~100 MPa,处理困难。
- 5) 下部坚硬岩层多为起伏较大的斜坡岩,冲锤施工易偏孔。
- 6) 地连墙入中风化、微风化岩层,岩石强度达80 MPa~140 MPa,成槽困难,施工周期长、进度无法保证。

#### 3.3. 工期要求高、施工组织难度大

由于盾构机进场时间要求,围护结构必须在相应时间内完成,时间紧,任务重,对现场施工效率要求高。同时施工场内机械设备、人员众多,而且场地有限,因此施工组织难度大,对管理人员施工组织要求高。

#### 3.4. 质量要求高

始发井处于海域段回填围堰内,围护结构质量对后期施工安全格外重要,因此对围护结构质量控制至关重要。

### 4. 主要成槽方式

为确保导墙施工及软土开挖时地层稳定,预先在导墙两侧采用 $\Phi 650@400$ 搅拌桩进行槽壁加固,加固深度15 m。淤泥土、全风化岩层采用成槽机成槽,对存在的孤石、基岩凸起、搅拌桩侵线采取冲锤“往返冲击破碎法”进行处理。但我们施工一段时间发现,冲击锤对于深度大、坡面大的硬岩施工效率较低,因此我们又在使用冲击锤前增加使用了旋挖钻引孔这一工序,形成了我们第二种成槽方式。

#### 4.1. 成槽机 + 冲击锤成槽

此成槽方式针对软土 - 常规无坡面硬岩成槽施工,其较单纯采用冲锤成槽施工效率可提高1.5倍。首先使用成槽机对地连墙上部软弱土层进行开挖,待开挖硬岩时采用冲击锤施工。冲击锤按主副孔顺序成孔,冲孔完成后利用方锤修孔。以6米标准槽段为例,冲击锤冲孔布置方式如图1所示。

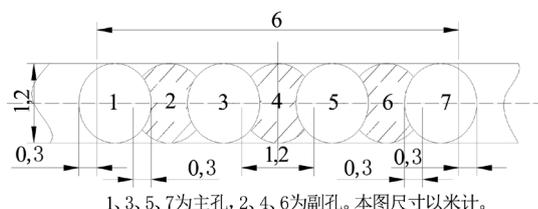


Figure 1. Way of impact hammer arrangement

图1. 冲孔布孔图

## 4.2. 成槽机 + 旋挖钻机 + 冲击锤成槽

此成槽方式主要针对软土 - 串联孤石 - 较大破面硬岩地层的地连墙成槽。首先使用成槽机对上部软土进行开挖，待成槽机开挖至孤石或硬岩时使用旋挖钻机进行引孔。对于强度低于 50 MPa 的强风化岩、中风化岩可采用普通钻筒进行引孔，对于强度大于 50 MPa 的微风化岩采用牙轮钻筒进行引孔(详见第五章第三条)。此种方式成槽冲孔布置图与上一成槽方式布孔区别不大，具体如图 2 所示。

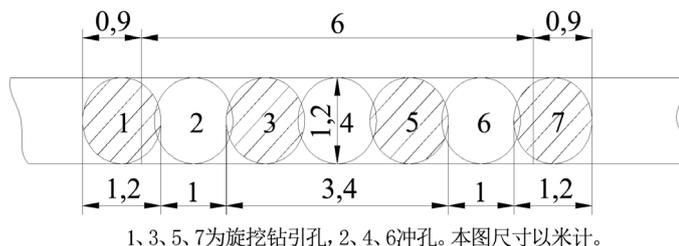


Figure 2. Way of rotary drilling 'rig arrangement  
图 2. 旋挖钻布孔图

在旋挖钻机将 1、3、5、7 号孔施工一定深度后，使用冲击锤 2、4、6 三个孔进行施工，如此循环往复直至施工至设计槽深，最后使用方锤进行修孔。

几种工艺结合施工如图 3 所示。

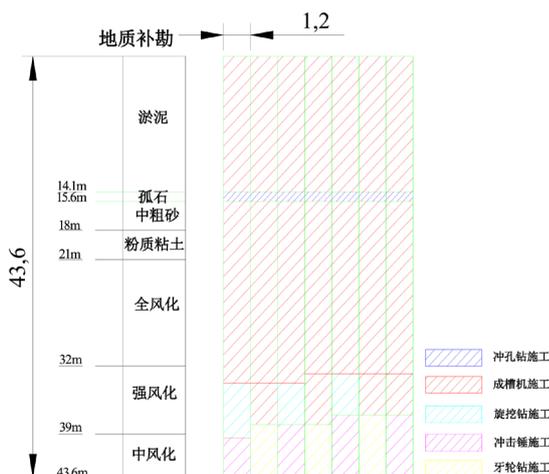


Figure 3. Schematic diagram of diaphragm wall construction process  
图 3. 地连墙成槽工艺配合施工示意图

## 5. 几种问题的处理及效率

### 5.1. 孤石处理

在 SE-6 幅地下连续墙成槽至 13 m 时遇到一块宽 1.5 m 的孤石，采用冲锤冲击时因孤石底部土体相对松软，石块下沉无法破碎，每天进尺仅 0.5 m。经过现场讨论分析采用地质钻机将孤石上满布间距不大于 300 mm 的钻孔后，再用冲锤破碎，3 小时内完全破碎，实现了进度上的巨大突破。

### 5.2. 强、中风化岩层施工

成槽 27 m 左右时至强风化层，成槽机抓取困难，每小时仅取土 3.5 m<sup>3</sup>。更换为单纯冲锤冲孔后，泥

浆粘度、比重、含砂远远超出了设计值，其对冲锤的浮力明显增大，冲孔效率降低，每天仅进尺 0.5 m，且护壁能力降低，坍孔的可能性增大。后更换为旋挖钻配牙轮钻头(如图 4、图 5 所示)副孔引孔再用冲锤进行主孔施工，每天可进尺 3.9 m，效率提升约 8 倍。



Figure 4. Draw of roller bit  
图 4. 旋挖钻牙轮钻头图



Figure 5. Core sample  
图 5. 取出的芯样

### 5.3. “斜坡岩”处理

基岩上表面为斜面，采用孤石的处理方式无效，旋挖钻机也无法引孔、取芯，且钻头崩齿严重。采取冲锤冲孔时，因岩石表面倾斜经常偏孔。现场采用：① 向槽内填充碎石块至偏孔上方后，继续冲击，偏孔严重的无效；② 向槽内灌注高强度水下混凝土至偏孔上方，待达到强度后继续冲击，可解决此问题，但混凝土浪费大、成本极高，且施工效率低，每天进尺仅 1 m 左右；③ 采用与在中强风化岩中同样的成槽方法，可大幅度提高施工效率，日最大进尺可达 6.3 m。

### 5.4. 单孔偏孔处理

在冲击锤冲孔过程中，由于施工人员操作不当或者岩面坡度过大导致冲击锤在成单个孔的时候出现偏孔。针对此类问题我们采取的是回填碎石至偏孔上方，然后重新进行冲孔。一般偏孔不严重时均可采

用此种方法得到解决。当偏孔严重时，需浇筑高强度水下混凝土，待到达强度后再继续冲孔。但此中方法施工效率有限，适合在工期充裕时使用。

### 5.5. 修孔时偏孔处理

在施工过程中我们也遇到在整幅地连墙冲孔成槽结束后，在方锤修孔时出现偏孔且将方锤卡住的情况。针对卡锤，我们采用成槽机进行打捞，捞完毕后，直接回填高强度水下混凝土至整幅槽段，待达到强度后重新进行成槽，此时可根据工期安排自由选择冲锤成槽或旋挖钻配合冲锤成槽。

### 5.6. 效率一览

孤石处理的效率会因孤石大小、孤石下部地层、使用设备的区别而不同，具体效率如表 1 所示。同时，采用不同工艺在不同地层成槽效率也大有区别，具体如表 2 所示。

**Table 1.** Hole formation efficiency comparison after geological drilling rig construct (solitary stone treatment)

**表 1.** 地质钻机引孔后冲孔效率对比表(孤石处理)

序号	孤石直径(下部地层)	设备名称	工作效率
1	1~3米(土层)	冲击锤	提高200%
2	1~3米(岩层)	冲击锤	提高120%
3	3~4米(土层)	冲击锤	提高50%
4	3~4米(岩层)	冲击锤	提高30%
5	4~5米(土层)	冲击锤	提高15%
6	4~5米(岩层)	冲击锤	提高5%
7	5~7米(土层)	冲击锤	提高10%
8	5~7米(岩层)	冲击锤	提高2%

**Table 2.** Table of various processes efficiency statistics between different stratum

**表 2.** 各地层中各种工艺工效统计表

序号	成槽工艺	地层	进尺 m/h
1	冲锤冲击	土层	3.2
		全风化岩	1.7
		强风化岩	0.45
		中风化岩	0.08
2	旋挖钻引孔后冲击锤冲击	中风化岩	0.16
		土层	10
3	旋挖钻机(子弹头)	全风化岩	8
		强风化岩	5
		中风化岩	0
		土层	4.5
4	旋挖钻机(牙轮钻)	全风化岩	6
		强风化岩	4
		中风化岩	0.4~0.8

## 6. 结论

1) 两种常规的成槽方式配合地质钻机密钻孔增大孤石破裂自由面、采用牙轮钻头对斜坡岩引孔、回填高强度混凝土等设备组合及技术措施可有效提高在此复杂地层的施工效率及施工质量。

2) 通过现场实际施工效果和施工效率一览表可以发现,使用地质钻机对孤石进行密钻孔以提高施工效率,孤石大小及孤石下方地层情况对施工效率的影响较大,孤石直径 3 m 以下时施工效率提升明显,当孤石直径大于 5 m 时是否使用地质钻机引孔对施工效率无提升。

3) 旋挖钻配牙轮钻头 + 冲击锤施工较单纯使用冲击锤在强、中风化岩层以及有坡面的基岩地层中成槽施工效率可提升 5~10 倍。

4) 本文所谈成槽施工中因项目工期原因未提及任何成本问题,但在其他类似项目中需考虑施工成本问题。旋挖钻配牙轮钻头较冲击锤成槽施工虽效率可提升数倍,但其成本亦同样提升数倍,故在其他类似项目中需根据地层情况、工期要求、成本要求、环境要求、场地布置等多方面进行综合考虑,灵活采用不同设备和技术措施,最大效率地发挥各类设备及技术措施的优势,做到既节约成本,又满足工期要求,还可以保证施工质量及现场施工需求。

5) 经过笔者前期调研,建议其他类似项目可在施工前通过补勘对现场地质进行充分了解,然后进行成槽试验,如先进行预裂爆破破碎基岩再采用冲击锤施工或文中所述施工方法,比较施工优劣势选取最优成槽方式。

## 参考文献

- [1] 王蕴华,李志波. 底部为岩石的地下连续墙冲抓破岩成槽施工[J]. 港工技术, 2007(2): 38.
- [2] 汪中汉. 地下连续墙快速穿越沿海填石层的施工技术[J]. 建材发展导向, 2010, 8(2): 51-54.
- [3] 梁锋亮. 地连墙施工中的机械组合应用[J]. 大科技, 2015(36): 223-224.
- [4] 高明巧,周佳奇,罗会东. 超深基坑地下连续墙施工技术[C]//2013 第九届海峡两岸地工技术/岩土工程交流研讨会论文集(大陆卷): 2013.
- [5] 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研究[J]. 隧道建设(中英文), 2018, 38(9): 161-166.
- [6] 张文新,牛占威,牛紫龙. 软土-孤石-风化花岗岩复杂地质条件下连续墙成槽施工技术[J]. 施工技术 2018, 47(6): 604-608.
- [7] 赵康林,王光伟,李志军,周兆勇. 地下入岩连续墙施工技术研究[J]. 隧道建设, 2013, 33(2): 156-159.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [hjce@hanspub.org](mailto:hjce@hanspub.org)