



# 一种富水砂卵石层超深地连墙成槽施工新技术

朱俊阳

中国电建集团铁路建设有限公司, 北京 100048

**[摘要]** 富水砂卵石地层的地连墙施工存在成槽过程槽壁极易坍塌、槽孔垂直精度难于控制的两大技术难题。福州轨道交通5号线建新南路地连墙深达60m, 穿越中粗砂层约15.5m、卵石地层约20m, 施工一度受到掣肘。经多次试验、调整, 逐步形成了以“竖向分层成槽、泥浆级配控制”为核心的富水砂卵石层超深地连墙成槽施工控制方法, 实现了槽壁稳定可靠、垂直精度可控。

**[关键词]** 富水; 砂卵石层; 超深地连墙; 分层成槽; 泥浆级配; 垂直度; 槽壁稳定

## 前言

随着地下连续墙的应用越来越广泛, 开挖深度越来越大, 施工难度也成倍增加, 特别是地质条件复杂地区, 出现的质量问题也越来越多, 最常见的一是槽壁坍塌。如苏州火车站的地下连续墙施工过程中, 第一幅槽壁坍塌导致钢筋笼报废, 第二幅在清槽过程中槽壁塌孔造成抓斗脱落坠入槽底<sup>[1]</sup>。天津地铁6号线红旗路站先后出现五次坍塌, 其中三次发生在软弱土层, 二次发生距地面10m以内的浅层<sup>[2]</sup>。另外一种槽孔垂直度控制失误导致地连墙防渗失效。常规“先两边, 后中间”的三抓法成槽施工工艺在施工时采用一抓到底的施工方法, 一般不考虑地质条件及水文条件的局部差异, 当墙体穿越复杂砂卵石夹层时, 易出现槽壁坍塌、垂直度难于控制的难题, 极易引起质量事故。

福州轨道交通5号线建新南路站超深地连墙工程地处为冲海积-冲洪积交互相地貌单元, 施工场区地下水位高、水压大。勘察结果表明, 地连墙成槽须穿越多种不同地层, 且存在较厚的软弱土层和多道砂卵石地层, 易坍塌地层厚度占比高达30%以上(地层中卵石多呈椭球状, 磨圆度较好, 含石英及长石, 中等风化, 粒径一般为3-20cm, 最大粒径>50cm, 含量为55~85%, 主要由中粗砂充填), 面临槽壁稳定控制与成槽垂直度控制双重难题。

针对上述施工难题, 本文提出了富水砂卵石层砂卵石地层的成槽施工“竖向分层成槽、泥浆级配控制”的技术解决方案, 在福州轨道交通5号线多个车站施工中成功应用, 实现了富水砂卵石地层地段超深地连墙槽壁无局部坍塌、垂直度偏差小于1/300的控制要求。

## 1 工程概况

福州地铁5号线2标建新南路站为地下三层岛式站台车站, 车站长152m, 标准段基坑宽24.1m, 深度约为24.15m。采用地下连续墙支护, 1m厚地下连续墙64幅, 采用C35P8混凝土, 连续墙两侧采用直径850mm@600mm三轴搅拌桩进行槽壁加固, 加固深度15-18m。标准段地连墙顶标高5.3m, 底标高-53.3/-54.3, 墙高58.6/59.6m。盾构井段连墙顶标高5.3m, 底标高-53.3/54.3m, 墙高58.6/59.6m。

工程区地质情况从上往下依次为: ①杂填土, 层厚2.18m; ②填石, 层厚2.62m; ③淤泥, 层厚2.8~16.0m; ④(泥质)中细砂, 层厚0.7~13.4m; ⑤粉质黏土, 层厚1.4~6.4m; ⑥3-3(含泥)中粗砂, 层厚2.1~20.1m; ⑦卵石, 层厚14.6~24m; ⑧强风化花岗岩(砂土状), 层厚3.1~6.13m, 平均厚度4.42m。地连墙穿越中粗砂层(约15.5m)、卵石地层(约20m), 插入中风化花岗岩。

地下水类型为松散岩类孔隙承压水, 主要富水地层为④(泥质)中细砂、⑥(含泥)中粗砂和⑦卵石。其含水性能与砂的形状、大小、颗粒级配及黏粒含量等有密切关系, 均属中等~强透水层, 水位埋深为3.64~2.56m, 水位标高为3.05~4.13m。

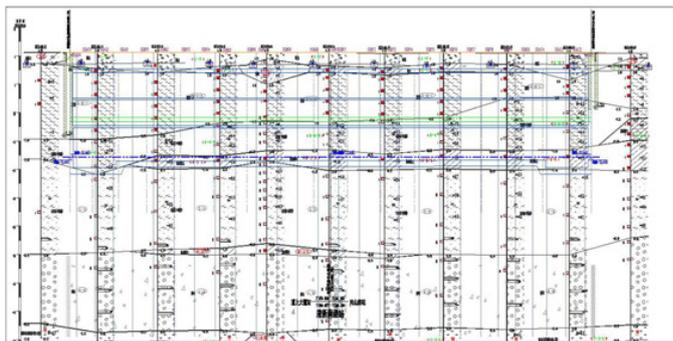


图1 围护结构地质纵剖面图(右线)

## 2 不同成槽控制参数效果的试验分析

### 2.1 槽孔布置

建新南路站直型墙 56 幅、L 型墙 4 幅、Z 型墙 4 幅。施工单元槽段划分按设计图纸要求进行，部分槽段根据现场实际情况作了局部调整见表 1。

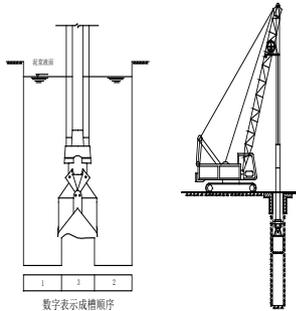
表 1 地连墙槽段划分及宽度表

槽段编号	槽段类型	槽段宽度	槽段数量
B01~B08、B10~B12、B14~B40	直型墙	6m	38
A02、A03、A05~A08	直型墙	4.25/7.5m	6
A10~A11、A14~A15	直型墙	5.4m	4
A17~A20、A22~A23	直型墙	5.4m	6
B09、B13	直型墙	5.75/6/5.5m	2
A04、A09、A16、A21	L型墙	4.75/5.25m	4
A01、A12、A13、A24	Z型墙	4.1/5.6m	4

试验槽段根据上表中各中类型，分别选取代表性槽段 A-15、A-19、B-30 进行工艺试验并进行相关技术研究。

### 2.2 试验段成槽工艺

直型墙采用传统的三抓依次成槽一次到底施工工艺，成槽机定位抓斗平行于导墙面，抓斗的中心线与导墙的中心线重合，抓斗靠其自重缓速下放，并避免放空冲放。每槽段成槽挖土过程中，抓斗中心每次对准放在导墙上的孔位标志物，以保证挖土位置准确。抓斗闭斗下放，开挖时再张开，每斗进尺深度控制在 0.3m 左右，抓斗缓慢升降，避免形成涡流冲刷槽壁，引起塌方，同时在槽孔砼未灌注之前严禁重型机械在槽孔附近行走产生振动。施工过程示意如图 1：

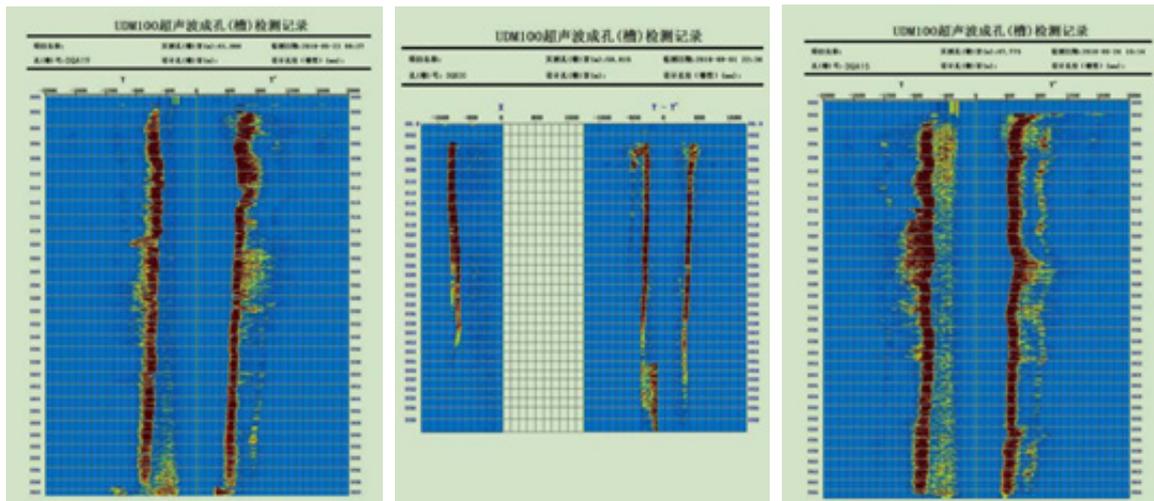


单元槽段成槽顺序示意图

图 2 标准成槽施工顺序

### 2.3 试验槽典型缺陷分析

根据现场地质条件，通过超声波检测技术，对各方案完成的成槽进行对比，分析槽壁稳定机制，为优化成槽施工工艺提供依据。



(a)

(b)

(c)

上图为几种典型成槽声波检测结果，其中：(a) 2~6m 为淤泥层，22m~30m 中粗砂层中泥浆渗入深度达 1m，12~14 米（含泥）中粗砂处出现局部塌孔；(b) 该槽段从（含泥）中粗砂段开始倾斜，卵石层槽壁倾斜严重；(c) 该槽段（含泥）中粗砂、卵石层成槽质量差，垂直度差。缺陷原因分析：(1) 中粗砂段泥浆级配随着成槽机不断的冲抓的过程中，泥浆功效减弱，泥浆渗入粗砂地层中，泥皮形成失败，导致出现局部塌孔。(2) 卵石地层中除出现局部坍塌，还易引发槽壁倾斜，说明槽壁卵石在清理时，易对邻近的卵石间填充物形成扰动，导致槽内的劣化泥浆的粘聚能力大为降低。由于泥浆参数需同时满足级配、重度、及粘度要求。当一次成槽泥浆无法满足各地层要求时，考虑分

段分层成槽施工。

成槽检测结果表明采用 6m ~ 7.5m 的槽段幅长，三轴搅拌桩槽壁加固，加固深度 15-18m 的试验工艺也不能有效提高成槽质量。

### 3 竖向分层成槽、泥浆级配控制方法

#### 3.1 施工工艺优化

将“依次成槽一次到底”按照分层情况改为“依次成槽分层到底”的施工工艺，便于针对不同地层，调整抓土方式；“泥浆级配控制”是根据项目地质水文情况，结合槽段竖向分层，先对泥浆相关参数进行检测，再加入一定比例的新鲜原浆及添加剂对泥浆进行调制，解决不同地层泥浆参数不易兼顾的难题。

#### 3.2 竖向分层控制的依据

根据上述分析，由于采用一次性成槽难于满足不同地层的稳定性控制要求，因此采用竖向分层控制时主要依据地层分层；其次考虑地下水条件。

根据砂卵石层的埋深情况结合泥浆在不同地层深度平衡状态，建新南路站超深地连墙竖向分层控制表如表 2。

表 2 槽段竖向分层表

序号	地质条件	层厚	地下水情况	竖向分层
1	杂填土	2.18m	上层滞水	第一层
2	填石	2.62m		
3	淤泥	2.8~16.0m		
4	(泥质)中细砂	0.7~13.4m	松散岩类孔隙承压水	第二层
5	粉质黏土	1.4~6.4m		
6	(含泥)中粗砂	2.1~20.1m		
7	卵石、层厚	14.6~24m		
8	强风化花岗岩(砂土状)	3.1~6.13m	孔隙裂隙承压水	第五层
9	强风化花岗岩(碎块状)	3.1~6.13m		

成槽过程中，由专人用测锤、量具检测槽深和槽长，根据竖向分层情况及成槽机穿越地层的情况，随时槽内补充泥浆，调整槽内泥浆指标，确保在砂层和卵石层的泥浆性能指标。并增加泥浆监测次数，随时观察泥浆性能的变化，必要时适当提高泥浆的密度来保持槽壁的稳定。

#### 3.3 泥浆性能参数

试验槽段泥浆制备根据地质和地面沉降控制要求经试配确定泥浆配比为：膨润土 100g，纯碱 4.4g，CMC 0.7g；性能控制指标如下表。

表 3 泥浆配制、管理性能指标

泥浆性能	新配制		循环泥浆		废弃泥浆		检验方法
	粘性土	砂性土	粘性土	砂性土	粘性土	砂性土	
比重 (g/cm <sup>3</sup> )	1.04 ~ 1.05	1.06 ~ 1.08	< 1.10	< 1.15	> 1.25	> 1.35	比重计
粘度 (s)	20 ~ 24	25 ~ 30	< 25	< 35	> 50	> 60	漏斗计
含砂率 (%)	< 3	< 4	< 4	< 7	> 8	> 11	洗砂瓶
PH 值	8 ~ 9	8 ~ 9	> 8	> 8	> 14	> 14	试纸

配制泥浆时以最容易坍塌的土层为控制对象确定泥浆的配方。土层是否容易坍塌主要取决于其土质和地下水情况，当存在地下水和土质颗粒较大时，容易发生坍塌。本工程(含泥)中粗砂、卵石以及此层中的承压水是泥浆配制需要关注的重点，

针对试验槽中泥浆的泥皮形成性弱、粘度高的问题，使用分散剂，如碳酸钠、碳酸氢钠等，置换出泥浆中的有害离子，使阳离子惰性化，从而使泥浆恢复分散状态。当泥浆粘度减小、失水量增大、稳定性变差时，采用添加膨润土和增粘剂(如 CMC)方法来处理。当泥浆相对密度减小时，则添加膨润土等，提高泥浆的相对密度。当泥浆相对密度增大时，则加水稀释。

根据试验槽泥浆检查分析结果，决定采用优质膨润土制备泥浆，并配以增粘剂形成薄而密且有韧性的泥皮止水护壁，对护壁泥浆进行配合比设计，确定了(含泥)中粗砂层最优配合比方案：即优质钠基膨润土 100g，纯碱 4.4g，CMC0.9g；卵石层最优配合比方案：即优质钠基膨润土 100g，纯碱 4.6g，CMC1.1g。

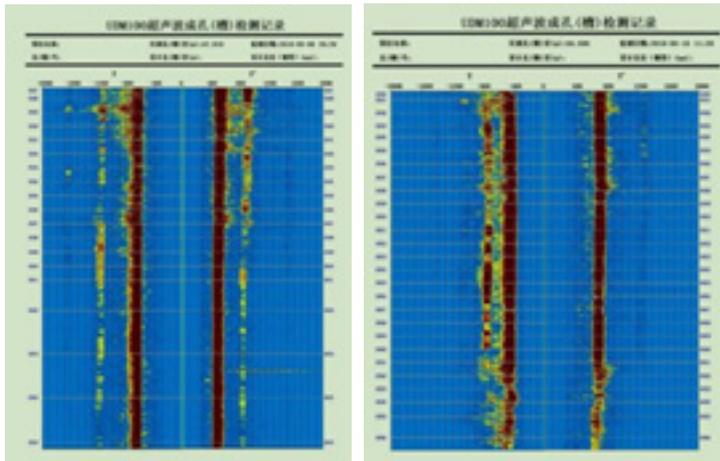
根据分段控制要求，对各地层所需的泥浆特性、泥浆平衡机理分析及现场实验结果，优化了泥浆配制、管理性能指标如下：

表 4 优化后的泥浆配制、管理性能指标

泥浆性能	新配制			循环泥浆			废弃泥浆		检验方法
	粘性土	砂性土	卵石层	粘性土	砂性土	卵石层	粘性土	砂性土	
比重 (g/cm <sup>3</sup> )	1.06 ~ 1.08	1.09 ~ 1.12	1.12 ~ 1.16	< 1.10	< 1.15	< 1.18	> 1.25	> 1.35	比重计
粘度 (s)	20 ~ 24	25 ~ 30	30 ~ 34	< 25	< 35	< 42	> 50	> 60	漏斗计
含砂率 (%)	< 3	< 4	< 6	< 4	< 6	< 9	> 8	> 11	洗砂瓶
PH 值	8 ~ 9	8 ~ 9	8 ~ 9	> 8	> 8	> 8	> 14	> 14	试纸

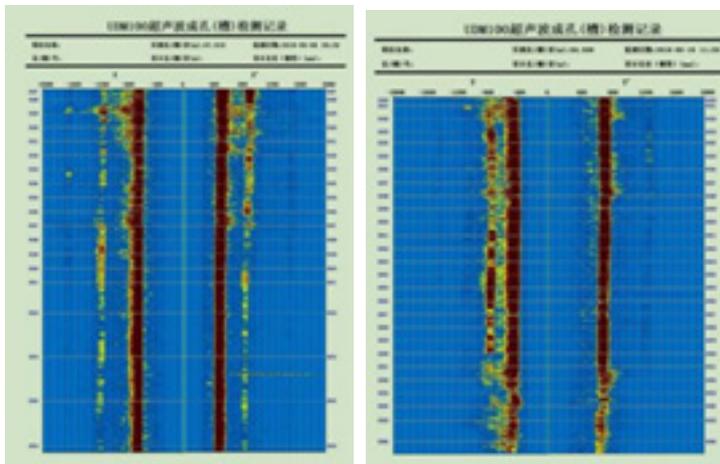
#### 4 槽壁稳定性及垂直度控制效果

竖向分层成槽工艺超声波检查结果如下：



(a)

(b)



(c)

(d)

通过上述措施，已经实施的 64 个槽段，全部经过超声波检测，结果统计 64 幅地连墙无塌孔现象，64 幅地连墙垂直度均不大于 1/300，合格率 100%。

#### 5 结论

对比分析了实验槽段的成槽效果，发现富水砂卵石层地段成槽垂直度差与槽壁局部坍塌存在相关性，都可以通过提高泥浆参数来控制；声波测试分析结果发现，在含淤泥中粗砂与砂卵石层富水地带，难以配制出同时满足二者要求的护壁泥浆，即便采用搅拌桩加固槽壁，也不能达到质量控制要求。因此，提出了一种“竖向分层成槽、泥浆级配控制”的施工优化方法，结果表明，该方法有效控制了富水砂卵石复杂地层的孔壁坍塌，全部槽段一次合格。

#### [参考文献]

- [1] 尉胜伟. 复杂地质条件下超深基坑地连墙成槽施工技术研究 [J]. 铁道建筑, 2010(12):51-54.
- [2] 薛长迁. 超深地连墙施工工艺的研究 [J]. 城市道桥与防洪, 2014(7):317-320.
- [3] 胡子付, 刘曙光, 飞虹. 富水圆砾地层地铁深基坑地下连续墙施工力学行为 [J], 施工技术, 2017, (S1):1130-1133.
- [4] 任军、徐会斌、李博, 富水卵石地层超深地下连续墙成槽工艺分析施工技术, 施工技术, 2018, (10)
- [5] 易岸峰, 地下连续墙成槽施工泥浆重度计算方法研究 [J], 铁道科学与工程学报, 2017, (05):1019-1023