

# 超深防渗地连墙施工技术

付连红 徐斌 郑源 涂世金

浙江易通基础工程有限公司, 浙江宁波 315800

[摘要] 主要阐述了襄阳市东西轴线道路工程鱼梁洲段东沉管干坞落底式帷幕地连墙的施工工艺及技术创新和提出了三水平、四因素配合比设计方法, 有效地解决了工程中遇到的难题, 为后续的施工创造有利的条件。

[关键词] 地连墙; 施工工艺; 技术创新; 配合比设计

## 引言

地连墙自 20 世纪 50 年代末引入我国, 先在青岛月子河水库与北京密云水库进行了试验性施工, 随后在建筑、煤炭、市政、铁道等行业推广应用<sup>[1]</sup>。地连墙是在地下挖出窄而深的沟槽, 并在其内浇注适当的材料而形成一道具有防渗、挡土或承重功能的连续的地下墙体<sup>[2]</sup>。防渗墙是地连墙的一种, 为了止水防渗而建造的, 可利用自凝灰浆充当泥浆和混凝土双重作用。本文详细介绍了超深防渗地连墙施工技术创新之处和新型材料自凝灰浆配合比设计方法的应用。

## 1 工程概况

襄阳市东西轴线道路工程鱼梁洲段东沉管干坞, 处于临江砂卵石地层, 干坞基坑拟采用“落底式帷幕地连墙+放坡开挖”的施工工艺, 工艺示意图见图 1。其中防渗地连墙深度 70~79m, 穿越粉砂层、卵石层、圆砾层等地层(典型地质柱状图见图 2)。

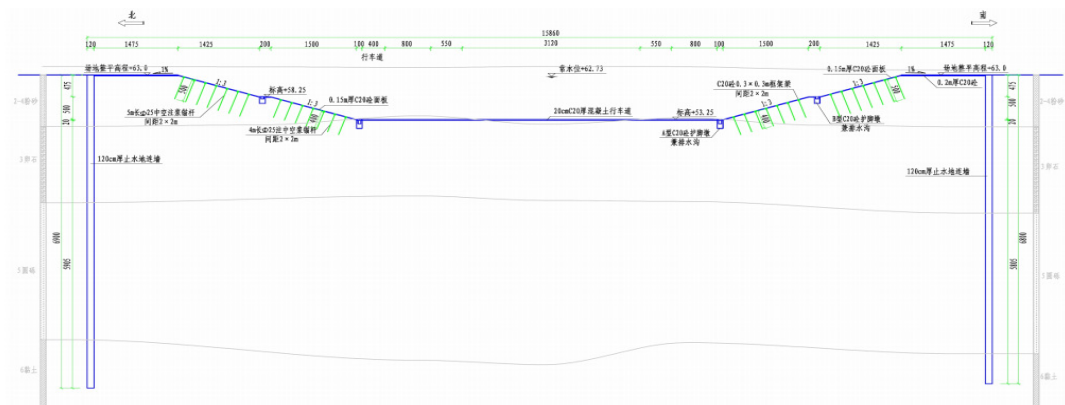


图 1 “落底式帷幕地连墙+放坡开挖”工艺示意图

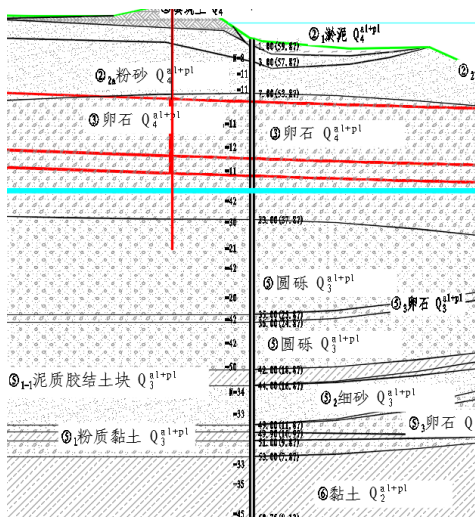


图 2 典型地质柱状图

2 施工工艺

2.1 槽壁加固

本工程止水墙深度 70~79m，地表粉砂层厚 10m，粉砂层的粘结性极差，止水墙成槽时间长，在地下水压力和主动土压力共同作用下，砂层部分极易坍塌，故采用水泥搅拌桩进行槽壁加固<sup>[3]</sup>。

为保证搅拌桩槽壁的顶部质量，防止上部导墙的不均匀沉降，施工中采取两项关键技术①槽壁加固二次搅拌技术，即水泥搅拌桩在导墙底 1—2 米范围内实施二次搅拌，以保证槽壁上部土体质量均匀。②导墙基槽二次开挖技术，即在施工导墙时，基槽上部采用挖掘机直接开挖，开挖时预留 20cm 保护土层，保护层人工进行清理，以保证桩槽土体不受破坏。

2.2 导墙施工

为保护槽口及保证槽段位置的准确性、支撑施工设备、防止槽壁顶部的坍塌等，地连墙施工前设置导墙。

导墙施工有两点技术创新①导墙形式由倒“L”型改为正“L”，并通过基槽加固方式将导墙底标高提至水位面以上。导墙尺寸采用 1.5m\*1.5m，环向钢筋采用双矩形搭接，并在倒角处设置拉筋，顶板钢筋和施工平台钢筋进行连接。②每个槽段施工前均采用【12 槽钢及钢板焊接成矩形卡槽，进行支撑加固。

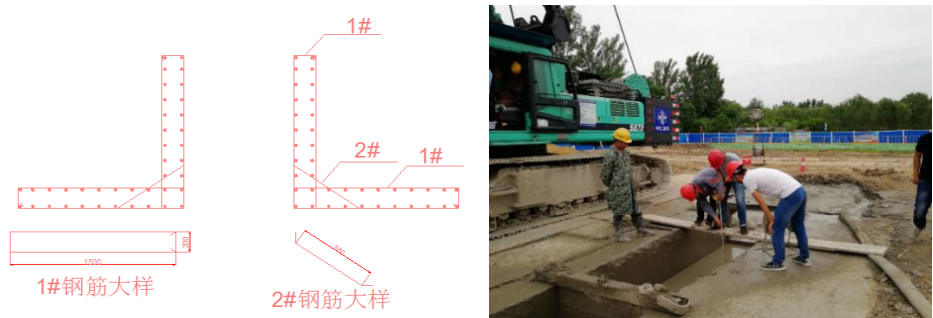


图 3 导墙钢筋图及槽壁支撑

2.3 槽段施工

防渗地连墙划分为一期槽段、二期槽段，先施工一期，再施工二期，均采用液压抓斗三抓成槽、导管灌注水下自凝灰浆工艺，成槽中重点控制泥浆性能和泥浆液面高度，槽孔每 20m 进行一次超声波检测，根据检测数据，及时纠正槽孔垂直度；清孔换浆采用气举反循环工艺，保证孔底沉渣达标。

地连墙的接头型式采用咬合嵌接的新技术和新工艺，即将常规防渗地连墙槽段间锁口管接缝的连接形式，变为采用液压抓斗直接抓铣嵌入的连接形式，提高了接缝质量的可靠性和防渗的性能，套铣施工需待 I 期槽底部终凝后进行，槽段套铣 20cm（如图 4 所示）。

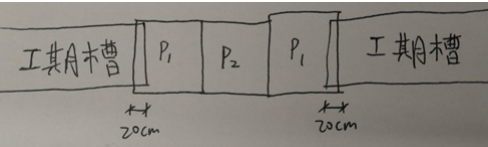


图 4 新型抓取式接头示意图（II 期槽先施工 P1 后施工 P2）

3 自凝灰浆配合比

自凝灰浆的配合比是整个止水地连墙施工的重中之重，采用钠基膨润土。

3.1 试验步骤

（1）按配合比方案称取相应质量的膨润土粉末和粉煤灰粉末，量取 1000g 水待用；（2）将膨润土和水混合得到泥浆，使用搅拌机搅拌 30min 至膨润土颗粒与水充分反应，静置 24h，使膨润土充分水化。（3）称取相应质量的水泥待用。（4）将充分水化的泥浆再次使用搅拌机搅拌 10min，然后加入到水泥搅拌机中，并倒入已经称好的水泥和粉煤灰，搅拌 20min，得到自凝灰浆浆液。用保鲜膜覆盖。（5）常温养护 24h 后拆模，注意拆模时间，若放置时间过长，容易使模具和试样黏结，影响试样的质量。（为充分模仿现场环境，将多余的自凝灰浆置于室外露天环境）（6）将得到的试模放入水泥标养箱中，温度设置为 20℃，湿度为 95%~100%，标养至 7d 和 28d 时取出。

3.2 配合比设计

提出三水平四因素的配合比正交设计，其中用水量固定为 1000kg，四因素分别为水泥、粉煤灰、钠基膨润土、专用超缓凝剂（固含量），碳酸钠分散剂用量根据钠基膨润土的用量而变化（其为膨润土用量的 1/30）。正交设计表见表 1，设计正交试验表 L9（3<sup>4</sup>）见表 2。

表 1 正交设计因素水平表（单位：kg）

水平 因素	水泥	粉煤灰	钠基膨润土	1#专用超缓凝剂
1	200	90	60	1.3
2	230	120	90	1.6
3	260	150	120	1.9

表 2 超缓凝自凝灰浆配合比正交试验安排表 L9 (3<sup>4</sup>)

序号 因素	水泥	粉煤灰	钠基膨润土	1#专用超缓凝剂
	A	B	C	D
1	3	1	1	1
2	3	2	2	2
3	3	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	1	1	3	2
8	1	2	1	3
9	1	3	2	1

将各数值带入，并按照膨润土掺量的多少进行分组，对应如下：

序号 因素	水泥	粉煤灰	钠基膨润土	1#专用超缓凝剂
	A	B	C	D
1	260	90	60	1.3
1 (1-1)	260	90	60	1.3
6 (1-2)	230	150	60	1.6
8 (1-3)	200	120	60	1.9
2 (2-1)	260	120	90	1.6
4 (2-2)	230	90	90	1.9
9 (2-3)	200	150	90	1.3
3 (3-1)	260	150	120	1.9
5 (3-2)	230	120	120	1.3
7 (3-3)	200	90	120	1.6

3.3 试验结果与分析

初凝时间和 7d 抗压强度测试结果见表 3。

表 3 正交试验测试结果

序号	组合	试验结果			
		初凝时间/h	终凝时间/h	7d抗压强度/MPa	28d抗压强度/MPa
1	A3B1C1D1	56		3.2	
2	A3B2C2D2	50		2.6	
3	A3B3C3D3	50		2.1	
4	A2B1C2D3	78		1.8	
5	A2B2C3D1	30		1.3	
6	A2B3C1D2	66		2.3	
7	A1B1C3D2	48		0.8	
8	A1B2C1D3	144		/	
9	A1B3C2D1	36		0.9	

初凝时间、7d 抗压强度指标正交结果极差分析见表 4。

表 4 正交试验结果极差分析

因素 指标	A		B		C		D	
	初凝时 间/h	7d抗压强 度/MPa	初凝时 间/h	7d抗压强 度/MPa	初凝时 间/h	7d抗压强 度/MPa	初凝时 间/h	7d抗压强 度/MPa
1	76.0	0.85	60.7	1.93	88.7	2.75	40.7	1.80
2	58.0	1.80	74.7	1.95	54.7	1.77	54.7	1.90
3	52.0	2.60	50.7	1.77	42.7	1.40	90.7	1.95
极差	24	1.75	24	0.18	46	1.35	50	0.15

由表 4 的初凝时间极差分析结果可知，影响自凝灰浆初凝速度因素的主次顺序为：D—C—A/B，即专用超缓凝剂掺量对初凝时间的影响最大，其次为钠基膨润土的用量，专用超缓凝剂用量越大，凝结时间越长，钠基膨润土用量越大，凝结时间越短，此结果与影响自凝灰浆沉冻因素的主次顺序基本一致，表明沉冻速度与初凝时间成正相关关系。从经济性初凝时间 60~80h 综合考虑，推荐配比为 A1B1C2D2。

由表 4 的 7d 抗压强度极差分析结果可知，影响自凝灰浆抗压强度因素的主次顺序为：A—C—B—D，即水泥用量对自凝灰浆抗压强度的影响最大，其次为钠基膨润土的用量，水泥用量越大，抗压强度越大，钠基膨润土用量越大，抗压强度越小。从自凝灰浆 28d 抗压强度不超过 2MPa 考虑，推荐配比为 A1B3C3D2。

综合考虑自凝的初凝时间及 7d 抗压强度初步确定配合比选用 A1B3C3D2。

#### 4 结论

针对超深防渗地连墙的特点,本工程在常规的施工技术上进行了改进,特别是采取的嵌铣式接缝形式,既解决了超长锁口管安放繁琐、费用昂贵等问题,又保证了工程质量、安全,加快了施工进度。自凝灰浆防渗材料的应用,在水利水电行业中应用不多,其配合比的设计,直接关系到防渗体系的成败,本工程采用的三水平、四因素的配合比正交设计方法,得出了不同工况、不同材料下的试验成果,便于设计、施工人员选择合理的配合比,以取得最优的质量保证。经过优选,本工程试验得出的有效配比为水泥:粉煤灰:钠基膨润土:超缓凝剂=200:150:120:1.6。

#### [参考文献]

---

- [1] 程瑞明、怀小刚. 超深地下连续墙施工技术及常见问题处理 [J]. 隧道建设, 2007, 27(2): 64-67.
- [2] 赵明时. 超深异型地连墙施工关键技术研究 [J]. 现代隧道技术, 2016, 53(2): 206-211.
- [3] 陈小辉, 刘江. 水泥搅拌桩在莫桑比克马普托大桥地连墙施工中的应用 [J]. 公路, 2018, (2): 99-102.