

# 地下连续墙施工技术浅谈

赵 超

合肥市轨道交通集团有限公司 安徽合肥 230011

**摘要:** 本文主要是根据新加坡T209标,从地连墙设计与施工角度考虑,在施工过程中出现的问题进行分析,以及相应的处理措施,以确保地下连续墙的施工质量,为地下连续墙施工人员提供参考。

**关键词:** 地下连续墙; 施工技术; 问题与措施

## Discussion on Construction Technology of Underground Diaphragm Wall

Chao Zhao

Hefei Rail Transit Group Co., LTD., Hefei 230011, China

**Abstract:** This paper is mainly based on the Singapore T209 standard, from the perspective of the design and construction of ground diaphragm wall, in the construction process of the problems are analyzed, as well as the corresponding treatment measures, in order to ensure the construction quality of underground diaphragm wall, for the construction of underground diaphragm wall to provide reference.

**Keywords:** Diaphragm wall; Construction technology; Problems and measures

### 前言

随着城市建设的快速发展,地下空间工程的利用逐渐加大,相应的地下连续墙施工工艺近几十年来在地下工程和基础工程中发展起来并应用较广泛的一项技术。例如地下停车场、地下室、地铁车站等。

地下连续墙可以用作深基坑的支护结构,亦可以既作为深基坑的支护又用作建(构)筑物的结构外墙,从而成为深基础施工的有效手段。但在施工中有一定的难度,能否保质保量、安全高效的完成地下连续墙的施工,就成了一大关键技术。以下通过结合实践施工经验,从地连墙设计与施工角度考虑,分析了地下连续墙的施工要点,希望对以后类似工程提供一定的借鉴。

### 1 项目概况

新加坡地铁汤申线T209标是由新加坡政府投资的公共基础设施项目,我公司承担的T209标为一站一区间,即伦多站和伦多站一五梅花站盾构区间,管段全长1737.404m。此标为施工设计总承包。

伦多为标准站,长度218m,设计为地下双层站,基坑宽度约21m,开挖深度24m。车站含5个出入口,车站土石方约17.3万方,总建筑面积约20000m<sup>2</sup>。本车站主体及A、B出入口结构采用盖挖逆筑法,盾构井为明挖顺做法,围护结构主要采用地连墙+内支撑。C、D、E出入口为明挖顺做法施

工,围护结构采用钢板桩+内支撑。

该车站位于新加坡中北部,地势起伏较大,工程水文地质复杂,车站软土层较厚,区间孤石较发育,基岩面较高,区间上软下硬及全断面硬岩长度达250双延米,且硬岩大部分为花岗岩,强度达到300Mpa,主要土层成为回填土,沉积土,原状土,全风化岩,强风化岩,中风化岩,弱风化岩,未风化岩。地下水位较高,位于地面以下2.3~5m。如图1所示:(见图1)

### 2 地连墙设计

此地连墙设计为车站开挖阶段围护结构,以及主体结构侧墙兼承重基础。设计采用端部承载力+摩擦力复合承载力计算,和框架结构模型进行抗弯能力分析。

地连墙为G45水下混凝土,保护层为75mm,钢筋为HRB400,住进直径为T25, T32, T40。

车站主体地连墙采用1.2m宽,出入口为1.0m宽,长度根据土体稳定性及周边风险源相调整,首开幅为2.8m,标准幅和闭合幅在2.8~6m范围内,深度根据土质情况确定,在36m~48m范围。出入口深度为24~28m范围。

作为主体结构侧墙的一部分,地连墙内预埋钢筋与车站顶板中板/底板钢筋通过螺纹套筒链接,并且与防水内衬墙通过预埋“L”型钢筋连接。

相邻地连墙接头形式,为燕尾式,采用橡胶止水条咬合

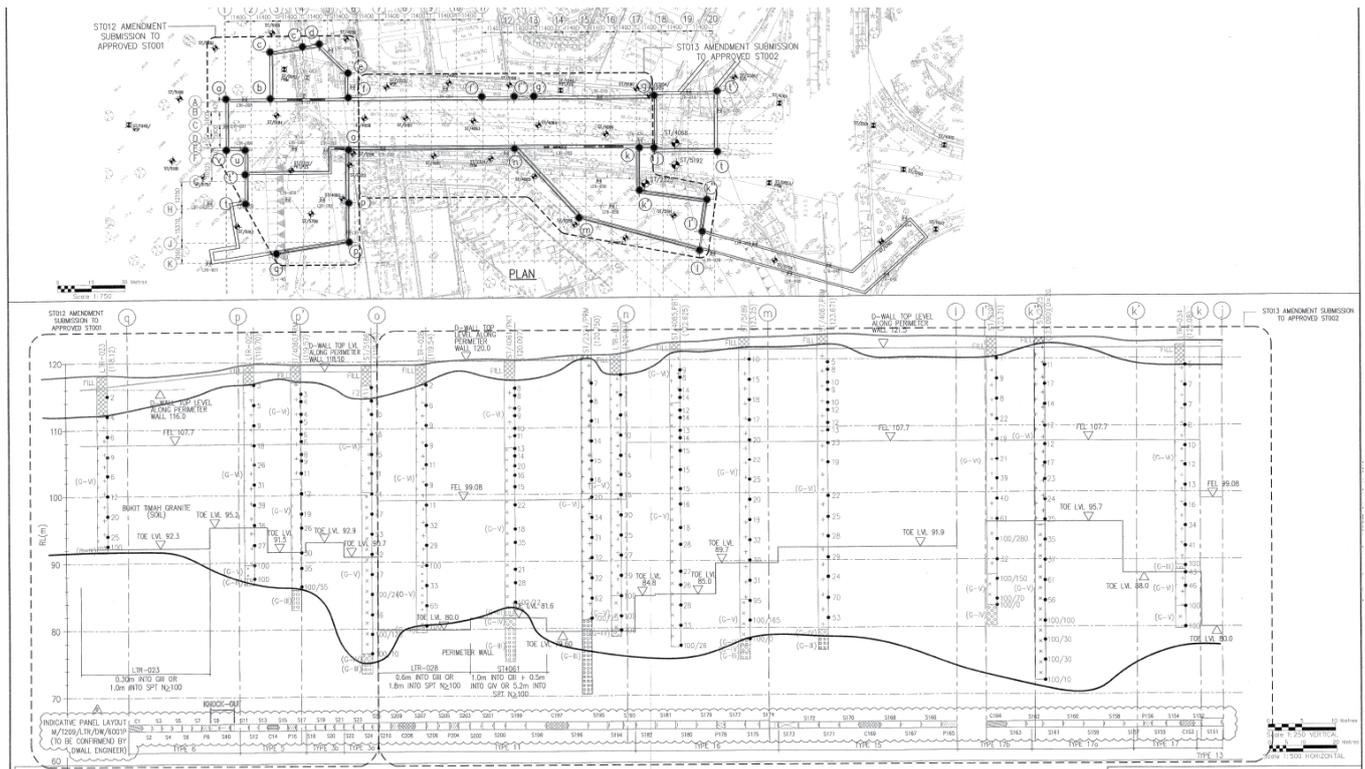


图1 多伦多车站地质剖面图

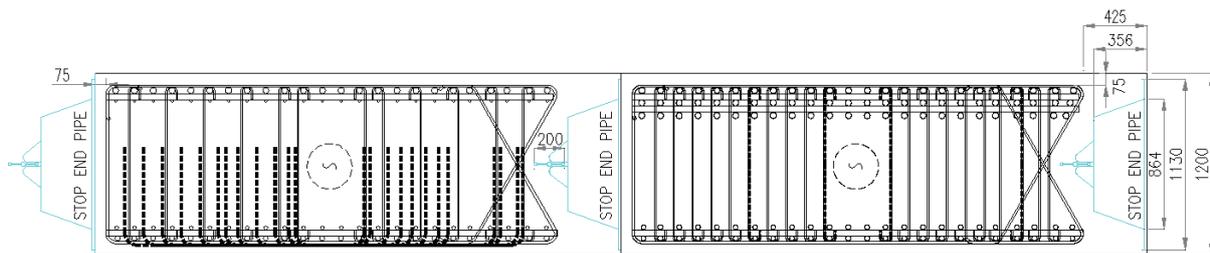


图2 地连墙接头形式

式连接。如图2：（见图2）

钢筋笼根据地连墙受力分析，进行分段配筋计算。如图

3：（见图3）

钢筋笼加工制作在场外完成，检验合格后运送至施工现场，受运输限制。每幅地连墙钢筋笼根据大小分3-10个小钢筋笼，之间用U型扣件链接。

每幅地连墙都采用独立的施工图纸，本车站共计210地连墙和相应图纸。

### 3 施工工艺

#### 3.1 泥浆系统

地下连续墙用泥浆通常是膨润土、掺合物和水。在成槽的过程中具有固壁、防止坍塌、携砂、冷却和润滑机具的

表1 泥浆控制参数表

Description of Test	Test method & Apparatus	Fresh Bentonite Prior to use	During Trenching	Prior to Concreting
Viscosity (sec)	Marsh Cone	32-50	N/A	32-50
Sand Content (%)	Sand Screen Test	N/A	N/A	<4
PH Value	Electric Meter	7-12	7-12	7-12
Density gm/cc	Mud Balance	1.02<x<1.10	N/A	<1.15
Frequency	-	1 test per mix	1 test per panel/bite	Once at end of recycling

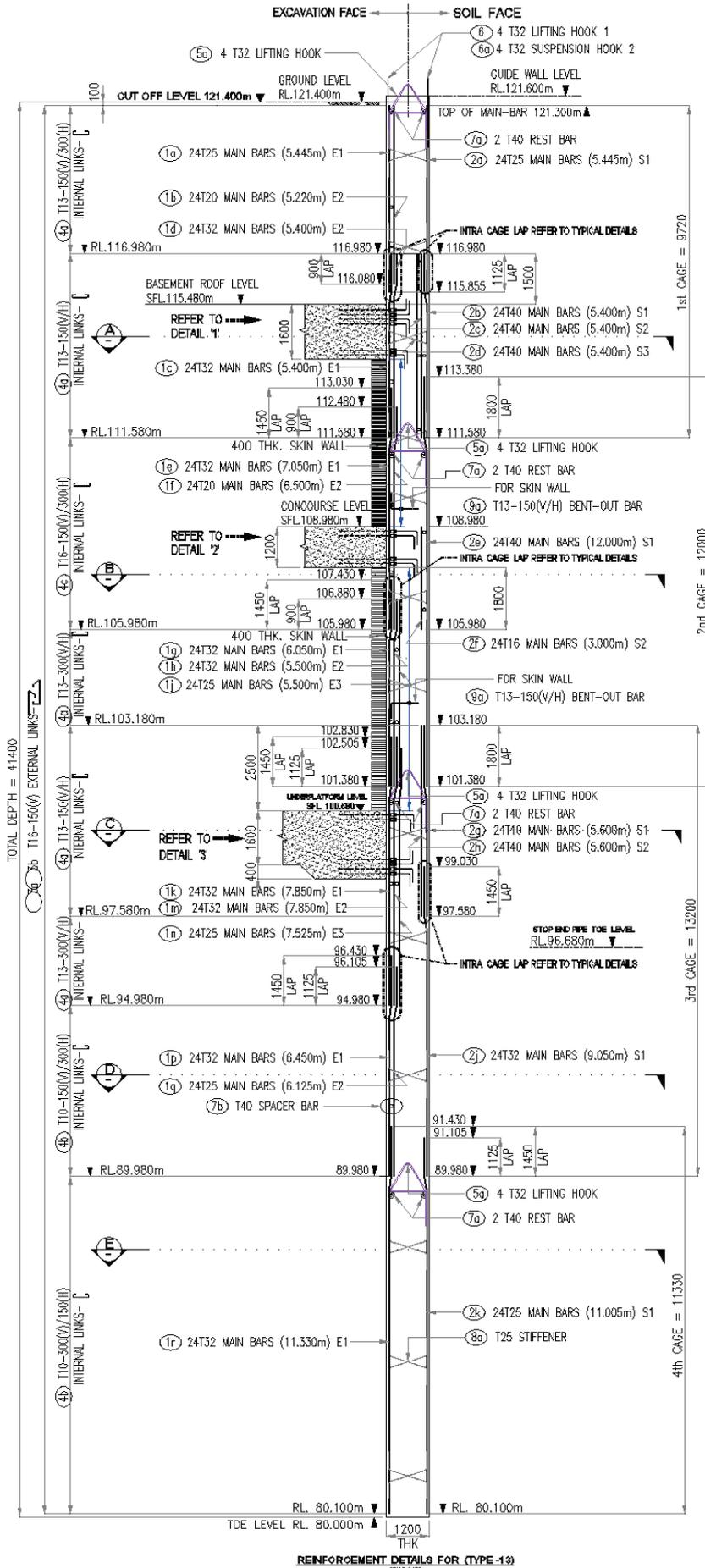


图3 地连墙配筋图

作用。

膨润土检测根据英国标准BS EN 1538，检测内用包括含水量，滤渣量（通过US 200 筛子），表面粘度，胶凝强度。

膨润土泥浆检测包括新鲜泥浆，开挖过程中泥浆，除砂后泥浆。测试指标为粘度，含沙量，PH值，重度。测试方法及参数见表1：（见表1）

### 3.2 导墙施工

导墙施工是地下连续墙施工的关键环节，其主要作用是成槽导向，控制标高、槽段和钢筋网定位，防止槽口坍塌及承重作用。如图4：（见图4）

施工流程：

测量放线—人工探沟—基槽开挖—垫层施工—钢筋绑扎—模板安装—测量校核—混凝土浇筑—模板拆除—基槽回填

导墙施工应注意以下问题：

1) 导墙的中心线必须和地下连续墙中心线一致，导墙竖直面必须垂直，这是保证地下连续墙施工精度的重要环节。

2) 导墙拆模后，为防止导墙产生位移，在导墙内侧每隔一定距离设一木支撑或是回填。在此之前，严禁任何重型机械和运输设备在其旁边行驶，以防止导墙受压变形。

### 3.3 地连墙施工

成槽机的抓斗为2.8m与起始槽幅相匹配，相邻幅槽段施工间隔时间应不小于24h，钢筋笼在场外制作，开挖前运至现场。

施工流程：

测量放线—成槽开挖—泥浆护壁—泥浆检测—土体取样—确定成槽深度—垂直度检测—泥浆循环除砂—下放锁口桩—含沙量检测—下放钢筋笼—下放导管—混凝土浇筑—试块制作。

控制重点：

1) 测量放线准确，在导墙上标记分幅线位置。

2) 再开过程中，持续注浆，确保浆面不应低于导墙顶面500mm。

3) 膨润土及膨润土泥浆各项参数的检测满足设计要求，确保其护壁效果良好。

4) 开挖过程中土体取样，最后5m范围内，每米取样，以上部分3米取样，并标记号样品深度，交予岩土工程师用于

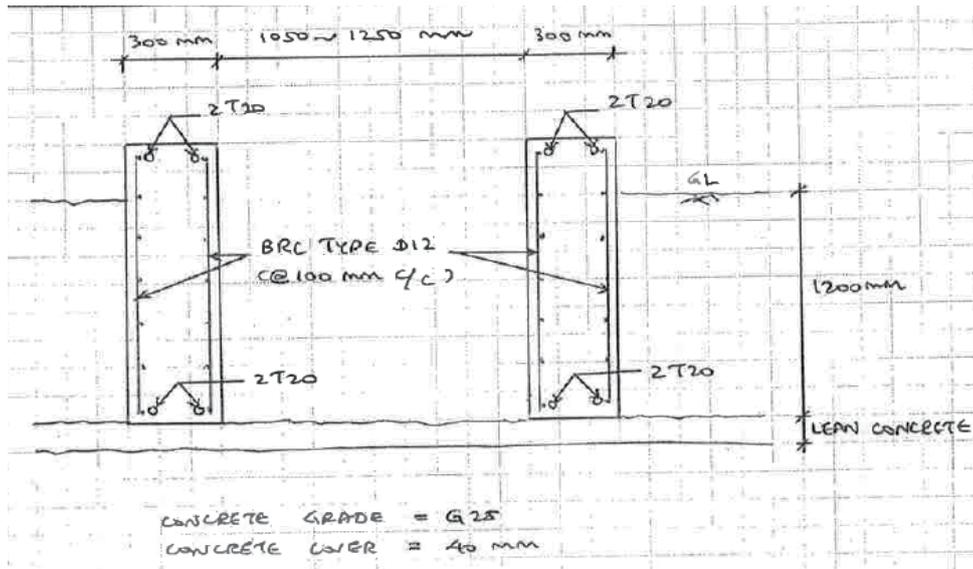


图4 导墙设计图



图5 锁口桩插入后



图6 锁口桩拔出后

确定开挖深度。

5) 开挖至15米及以后每加深5米左右进行超声波垂直检测，尽量做到无超挖，发现问题及时处理，满足垂直度小于1/200。

6) 地下连续墙接缝采用锁口桩接头工艺，成槽结束并经验收合格后，锁口桩内橡胶止水带锚固靠稳定。锁口桩按设计分幅位置准确就位，插入槽内，并且锚固在导墙上。以避免锁口管在混凝土灌注过程中移位。锁口桩插入后图5，拔出后图6。（见图5、图6）

7) 泥浆循环除沙，从底部向上逐级除沙，完成后中需要测量槽底循环泥浆参数。含沙量小于4%。

8) 吊放钢筋笼时，钢筋笼对准槽段中心，垂直又准确地插入槽内，钢筋笼进入槽内时，吊点中心对准槽段中心徐徐下降，防止碰撞槽壁。下放过程中，钢筋笼搭接位置准确，预埋套筒及钢筋用胶合板覆盖。带钢筋笼全部插入

槽内后，检查其顶端高度是否符合设计要求，然后将其悬挂在导墙上。遇障碍物不能下放时，重新吊起，待查明原因并采取措施后再吊入。钢筋笼下放到位后，用特制的钢扁担搁置在导墙上，并通过控制笼顶标高来确保预埋件的位置准确。

9) 混凝土导管长度有1m、1.5m、2m、3m，合理搭配，导管底部至槽底300mm左右。记录放入导管根数及相应长度。

10) 水下混凝土浇筑，初灌时保证每根导管内及漏斗内混凝土量满足封底砼的备用量。导管保持在混凝土液面以下2-6m，双导管浇筑时，确保同时灌注。浇筑过程中每浇筑两车后测量1次混凝土液面高度，计算导管埋深，并绘制浇筑图。

11) 浇筑过程中根据下表制作相应数量的试块。如表2:

表2 混凝土方量与试块对应表

Vol. of concrete (m <sup>3</sup> )	Minimum numbers of samples
< 10	1
11 - 40	2
41 - 100	3
101 - 400	4
401 - 2500	2 + 1 sample per 200m <sup>3</sup> or less
>2500	15

#### 4 施工过程中问题与解决

##### 4.1 试验桩承载力不足

根据设计要求，施工现场需做2根测试桩，对设计进行校核。第一根试验桩深为38米，底部为土层，属摩擦桩，在荷载达到80%极限承载力时，桩体下沉，荷载维持稳定，未到其设计极限承载力。第二根试验桩身为42m。底部嵌入岩石0.5m，属于承桩。在达到极限承载力，反复加载，其沉降量在允许范围内。

通过实验，验证对于摩擦桩计算土体参数选取不当，对于承重基础（地连墙）深度需重新设计，提交审核。

重新设计，对于工期影响较大，而且地连墙加深，工程造价增加。

##### 4.2 漏浆

在施工S10号地连墙，开挖至导墙以下5m时，护壁泥浆液面缓慢下降，逐渐流失。且根据调查，S10周边地下无任何管线及构筑物，周边100m内河沟，管道均无泥浆。可知泥浆通过地下水力通道，下渗流失。。

经讨论，暂停开挖，及时回填LSS type 3（液体土：水泥，石灰，膨润土等混合剂，具有流动性好，7天强度1N/mm<sup>2</sup>，密实度高等特点）。经24小时重新开挖。开挖后泥浆没有再次流失，之前流失通道已被LSS填堵。

##### 4.3 成槽深度确定

根据现场已完成地连墙统，40%地连墙成槽深度大于设计深度，20%地连墙成槽深度小于设计深度，40%地连墙成槽深度等于设计深度。成槽深度不同于设计深度，导致钢筋笼的加长或减短。造成施工时间延长，成本增加。

主要原因为，每幅墙的实际深度根据挖出的土体样本进行计算确定。而地连墙设计深度根据附近地质勘探孔勘察报告进行计算确定，车站范围内地质勘探孔较少，导致设计深度与实际深度偏差较大。

解决方案，在地连墙施工范围内新增加9个地质勘探孔，探孔间距由30m变为20m。对地连墙成槽深度重新进行设计计算，减少对钢筋笼的修整，加快后续地连墙施工进度。

##### 4.4 地连墙质量检测

根据设计要求对20%地连墙进行超声波混凝土检测及墙底取芯验证基底强度（嵌岩型地连墙），结果发现3幅墙体取芯混凝土样本不连续，局部缺失。

原因有可能为，下钢筋笼之前槽底清理不彻底，除砂效果不佳。泥浆重度较大，局部夹泥，再有槽壁倾斜，下放钢筋笼过程中，刮壁沉积和夹杂。

解决方案，进行墙底和墙体注浆，根据地连墙的设计承载力及成槽深度，计算注浆压力，通过取芯孔进行压力注浆，并确定注浆完成条件。

例地连墙S186幅，长6m，宽1.2m，深38.8m，嵌入岩石0.5m。在结构底板以下18.62m。取芯结果表明有两处样品丢失。并且泥土涌进钻孔。具体信息详见图7：（见图7）

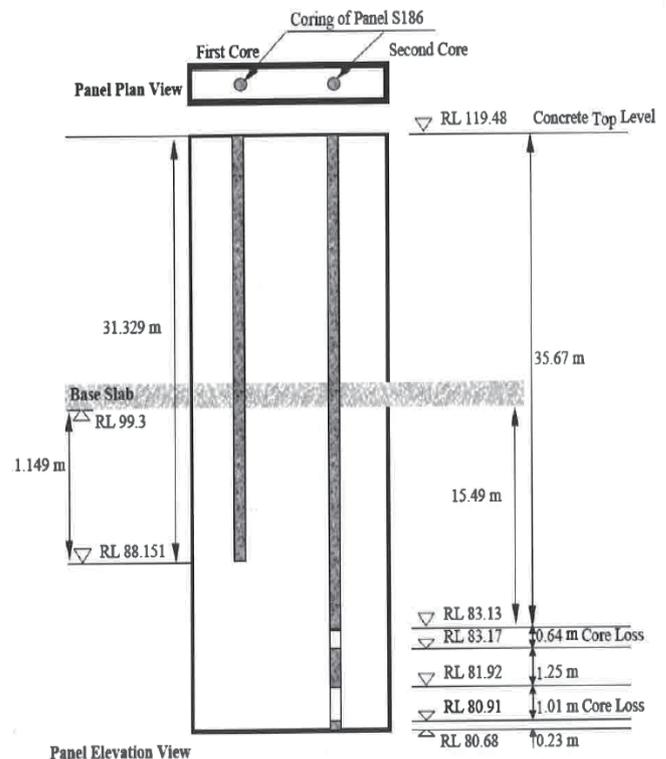


图7 地连墙取芯参数

注浆方案为：

表3 HILTI 植筋胶植筋要求

HILTI		Hilti. Outperform. Outlast.									
HILTI-HIT RE500 Injection Adhesive with Rebar Application											
Summary of drill in depth for both Hot and Cold design consideration (Assumed bar perpendicular to slab or wall surface exposed to fire)											
		Bar Size	mm	10	13	16	20	25	32	40	
		Hole Size	mm	12-16	17-19	20-22	25-28	30-32	39-42	47-50	
		Min Spacing	mm	50	50	50	65	75	96	120	
		Loading values for pull out test on site		kN	31.4	53.1	80.4	125.7	196.3	321.7	502.7

		Concrete Grade										
Cold Design*	Length to develop yield (mm)	45 N/mm <sup>2</sup>		135	175	210	265	330	520	805		
Hot Design**	Length to develop yield (mm)	F120 ie 120mins fire rating		235	260	280	310	340	390	450		
		F240 ie 240mins fire rating		320	350	360	390	430	480	530		

Design drill in length = max (Cold or Hot)	Concrete Grade									
		45N/mm <sup>2</sup>	F120	235	260	280	310	340	520	805
		F240	320	350	360	390	430	520	805	

\* Calculations based on transverse reinforcement T32 @150mm c/c

- 1) 用高压水清洗钻孔，达到钻孔深度；
- 2) 在钻孔内安装压缩器；
- 3) 准备高强度水泥浆，Stocrete AEG 水泥，水灰比为 0.45；
- 4) 压缩器压力调至28-30bar，开始压浆；
- 5) 记录压力和注浆量；
- 6) 直至满足25bar压力持续15分钟，或注入6500升水泥浆液。停止本次注浆；

现场实际结果为，阶段一，前90分钟，随着水泥浆注入，压力逐渐增加至25bar，此时已注入2818升。阶段二，维持压力25bar，15分钟，注入384升。

满足要求，停止注浆。

结论为，在此幅地连墙底水压为4bar，注浆压力远大于水压，在注浆过程中，压力稳定，达到预期要求，地连墙底与岩层接触面和地连墙空腔都已被混凝土浆液填充。满足其作为基础的承载力要求。

#### 4.6 开挖后地连墙质量

1) 漏水现象较严重，集中在地连墙接缝位置，和预留钢筋套筒位置，主要是由于灌注混凝土时接头处有泥渣，使混凝土无法填充接头处的缝隙，以及预留钢筋处，钢筋比较密集，混凝土不够密实。主要采取措施，对仍在施工地连墙接缝位置加强刷洗，对于已开挖部位，压力注入聚氨酯填充混凝土缝隙堵水。

2) 夹泥，部分墙体有轻微夹泥现象，集中在板部预留钢筋位置，主要是在钢筋较密集区域，浇筑过程中混凝土上升较快，膨润土泥浆未能排除干净。严重性夹泥现象较少了，成槽时间长，槽壁局部坍塌。采取措施：凿除软弱夹泥区域，用高压水枪清洗干净，固定模板，四周用水泥浆密封，经24小时，通过模板底部向上压入同强度的微膨胀混凝土浆。

3) 预埋件位置偏差，钢筋笼内有板结构及内衬强预埋

钢筋，对其高程控制要求较高，但是一幅墙由多个钢筋笼通过U型扣件搭接，上部悬挂于导墙扁担上，较多连接点影响预埋件位置。处理措施，首先是在设计上加大对预埋件偏差允许值，其次在吊放钢筋笼过程中，严格控制个个笼子之间的搭接位置，以及上部悬挂位置。仍有不满足设计要求的预埋钢筋套筒，做报废处理，在其附近重新植入钢筋，植入深度满足植筋胶需求。本项目使用HILTI 植筋胶，要求如表3：（见表3）

#### 5 结束语

地下连续墙越来越广泛地应用于深基坑中，从工程经济角度，越来越多的地连墙兼做永久结构侧墙，但在施工过程中，预埋钢筋较多，对墙的质量要求更高，地连墙的设计和施工，还有很多方面值得我们深入研究。本文根据新加坡T209标地连墙施工，对设计、施工以及工后质量等方面遇到的问题，及解决方案进行简单阐述，希望能为相关技术人员提供一些参考。

#### 参考文献：

- [1] 杨统元, 丁恩亮, 沈育龙. 深厚细砂层中地下连续墙施工技术浅谈[J]. 建筑与装饰, 2019(16): 127-132, 134.
- [2] 康明明. 市政地铁工程地下连续墙施工技术浅谈[J]. 建筑工程技术与设计, 2020(23): 2058.
- [3] 杨俊霞. 浅谈建筑施工中的地下连续墙技术[J]. 建材发展导向(下). 2021(1): 267-268.
- [4] 陈红标. 浅谈建筑施工中的地下连续墙技术[J]. 四川水泥. 2020(11): 178-179.
- [5] 刘宜和. 浅谈建筑工程地下连续墙的施工技术[J]. 装饰装修天地. 2019(8): 254.
- [6] 孙豆豆, 潘富娟, 高峰. 浅谈地下连续墙施工技术的应用[J]. 卷宗. 2017(24): 235.
- [7] 顾斯远. 浅谈地下连续墙施工技术[J]. 低碳世界. 2017(19): 149-150.