

# 上海明珠二期南浦大桥地铁站工程 超深槽段地下连续墙施工体会

邓绍伦<sup>1</sup>, 杜晓辉<sup>2</sup>

(1. 上海建科建设监理咨询有限公司, 上海 200032; 2. 上海市建四公司第二项经部, 上海 200063)

**摘要:** 在上海轨道交通明珠二期南浦大桥地铁站工程超深槽段地下连续墙施工中, 通过搅拌桩加固并在地连墙与桥墩之间增加了水泥掺量为 20% 的 SMW 素桩, 在基坑内的被动区抽条加固部分采取局部水泥掺量提高到 12% 有效地改善土的力学指标, 控制槽壁变形和对桥墩的影响, 此外, 采用重斗强抓方法顺利掘进硬土层。

**关键词:** 地下连续墙, 搅拌桩, SMW 素桩加固, 水泥掺量, 重斗强抓

**中图分类号:** U445.55+6 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2005)05-0012-03

## 1 工程概况

### 1.1 工程概况

上海轨道交通明珠二期南浦大桥地铁站位于南浦大桥西转盘引桥和国货路之间, 中山南路北侧。车站呈东西走向, 全长 185 m, 宽 17.7 m, 地下 3 层, 车站标准段基坑挖深 23 m, 端头井挖深 24.6 m, 这在上海目前非竖向换乘的在建车站中属基坑深度之

最。基坑围护为“二墙合一”形式, 地下连续墙既作围护又兼作主体侧墙结构之用。墙宽一般为标准幅 6 m, 厚 1 m, 标准段深 36.5 m, 端头井部分深 39.5 m。入土比均为 0.6, 采用水下砼, 强度等级 C30。

### 1.2 工程地质情况

各土层的主要力学指标见表 1。

表 1 各土层主要力学指标表

土层编号	层底深度 /m	土层名称	状态	比贯入阻力值 /MPa	渗透系数 /( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ )	内摩擦角 /( $^{\circ}$ )	粘聚力 /kPa
①	2.00	杂填土		0.98			
② <sub>-1</sub>	11.50	灰色粉质粘土	松散~稍密	0.67		25	13
② <sub>-2</sub>	17.60	灰色粉质粘土	稍密	0.93	$5.0 \times 10^{-5}$	26	11
⑤ <sub>-1</sub>	19.50	灰色粘土	软塑	0.74	$5.0 \times 10^{-5}$	16	14
⑤ <sub>-2</sub>	24.30	灰色淤泥质粘土	软塑	1.33	$1.0 \times 10^{-5}$	20.5	18
⑥	28.60	暗绿~草黄色粉质粘土	硬塑~可塑	3.31	$1.0 \times 10^{-6}$	22.5	40
⑦ <sub>-1</sub>	35.20	草黄色粉砂	密实	12.21	$2.0 \times 10^{-4}$	31	8
⑦ <sub>-2</sub>		草黄色粉砂	密实	17.62	$1.0 \times 10^{-3}$	33.5	4

本工程地质条件复杂, 对成槽施工非常不利, 主要表现在以下几点:

(1) ③、④层淤泥质粘土缺失, ①层为 2 m 厚的杂填土, 16 m 以浅为②<sub>-1</sub>、②<sub>-2</sub>层粉质粘土, 由于②层土粘聚力微小, 其抗剪强度几乎完全依赖自重应力, 且带有显著的砂性, 在动水压力下容易溃散, 同样在地墙护壁泥浆的浮力作用下, 自重应力被取消, 主体抗剪强度将会完全丧失。而且该层又处于地槽浅层, 护壁泥浆侧向压力相对又较小, 显然②层土是成槽成功与否的关键所在。

(2) 在第⑥层及以下为阻力很大的硬土层, 其中⑦<sub>-1</sub>和⑦<sub>-2</sub>层通常作为桩基础的持力层, 这对成槽机的切削能力和纠偏功能及成槽工艺的选择是严峻的挑战。

(3) 该工程环境保护等级高, 在 12~21 轴靠西端头井范围为一级基坑标准, 该区域南侧是南浦大桥的引桥桥墩, 最近的距地墙结构外边线仅 3.5 m, 因桥墩基础长 41 m, 仅深于该处地墙 1.5 m, 抵抗侧向推力的能力较差, 桥墩保护问题突出, 而且在基坑未开挖时, 桥墩已发生水平位移。

收稿日期 2004-10-22; 改回日期 2005-03-03

作者简介: 邓绍伦(1973-)男(汉族), 江西临川人, 上海建科建设监理咨询有限公司分公司副经理, 结构工程专业, 从事建设监理、项目及风险管理工, 上海市宛平南路 75 号, dslyibi@sina.com。

## 2 解决软弱表层在成槽过程中的稳定性问题,控制槽壁变形以及对大桥桥墩的影响

勘察报告显示,②层土的内摩擦角并不小,有 $26^\circ$ ,但粘聚力较小(11 kPa),实际开挖后发现这层土几乎没有粘土的特征,在干燥状态下可以稳定地保持一定坡度,一旦淋雨就立即溃散。护壁泥浆一方面在水平方向对成槽壁施加压力,抵消主动土压力而起作用,而另一方面,泥浆在砂性比较明显的②层土所形成的泥皮不够坚韧,泥浆在铅垂方向上对土颗粒施加浮力抵消了土的自重作用,从而削弱了土的抗剪强度,所以即使有可观的内摩擦角,表层的深厚粉质粘土抗剪强度仍不足。

为了验证,采用 Meyehof 公式对槽壁不同深度进行了稳定和变形验算。

### (1) 稳定验算

利用稳定系数法公式:

$$N_s = (H\gamma - H'\gamma_e + q) / S_n \leq 4 \quad (1)$$

式中: $N_s$ ——稳定系数; $H$ ——沟槽深度,取 39.5 m; $\gamma$ ——土的容重,取 18.4 kN/m<sup>3</sup>; $H'$ ——泥浆液位深度,取 38.5 m; $\gamma_e$ ——泥浆容重,取 10.5 kN/m<sup>3</sup>; $q$ ——地面超载,取 20 kN/m<sup>2</sup>; $S_n$ ——地层不排水抗剪强度,取 75.75 kN/m<sup>2</sup>。

计算得: $N_s = 4.24$ ,不满足(1)式的要求。

### (2) 变形验算

利用 Meyehof 公式:

$$N = 4(1 + B/L) = 1.17 \quad (2)$$

式中: $N$ ——条件基坑承载系数; $B$ ——沟槽宽度, m; $L$ ——沟槽的平面长度, m。

### (3) 临界深度

$$H_{cr} = \tau_u / (K_0\gamma' - \gamma_1') \quad (3)$$

式中: $H_{cr}$ ——临界深度, m; $\tau_u$ ——土的不排水抗剪强度,取 16.47 kN/m<sup>2</sup>; $K_0$ ——静止土压力系数,取 0.485; $\gamma'$ ——土壤的浮容重,取 7.93 kN/m<sup>3</sup>; $\gamma_1'$ ——泥浆的浮容重,取 1.01 kN/m<sup>3</sup>。

计算得: $H_{cr} = 5.76$  m。

### (4) 沟槽坍塌系数

$$F = 2(\gamma'\gamma_1')^{1/2} \tan\theta / (\gamma' - \gamma_1') \quad (4)$$

式中: $\theta$ ——砂土的内摩擦角,查地质报告为 $60.9^\circ$ 。

计算得: $F = 1.474 < 1.6$ ,不安全。

### (5) 沟槽壁面横向变形

$$\Delta S = (1 - \mu)(K_0\gamma_e - \gamma)H_1L/G_0 \quad (5)$$

式中: $\Delta S$ ——沟槽壁面横向变形; $\mu$ ——土的泊松比; $K_0$ ——静止土压力系数; $\gamma_e$ ——泥浆的容重;

$\gamma$ ——土的容重; $H_1$ ——从地面算起至计算点的深度; $L$ ——沟槽的平面长度; $G_0$ ——土的压缩模量。

⑥层层顶处: $\mu = 0.35$ ,  $K_0 = 0.43$ ,  $\gamma_e = 10.5$  kN/m<sup>3</sup>,  $\gamma = 18.4$  kN/m<sup>3</sup>,  $H_1 = 26.3$  m,  $L = 5.5$  m,  $G_0 = 7.54$  MPa。

计算得: $\Delta S = -237$  mm。

⑦\_2层层顶处: $\mu = 0.35$ ,  $K_0 = 0.54$ ,  $\gamma_e = 10.5$  kN/m<sup>3</sup>,  $\gamma = 18.1$  kN/m<sup>3</sup>,  $H_1 = 24.3$  m,  $L = 5.5$  m,  $G_0 = 5.03$  MPa。

计算得: $\Delta S = -290$  mm。

验证结果表明,不进行槽壁处理,成槽时槽壁的稳定和变形都不能满足要求。

原打算采用提高泥浆的密度和粘度等性能来满足护壁要求,但由于泥浆密度和粘度较大时对混凝土和钢筋的咬合不利,也增加浇筑水下混凝土的难度,并易引起钢筋笼沉放困难、混凝土钢筋笼上浮等诸多弊病,故弃而不用。

重新考虑采用改善土的力学指标,通过搅拌桩加固予以实现。加固后土体的强度远大于原状土,从经济角度以及今后成槽机纠偏时切削加固土体等出发,水泥掺量不宜过大,一般取 7%。南浦大桥桥墩处,为了控制初期变形的累加,在地连墙与桥墩间增加了水泥掺量为 20% 的 SMW 素桩加固,在基坑内的被动区抽条加固部分,采取局部水泥掺量提高到 12%。搅拌桩和 SMW 素桩加固后的槽壁剖面如图 1 所示。

采用该方案后,解决了②层土强度完全依赖自重应力的问题,改善了土的力学性能,增加了粘聚力,在后来成槽的情况中,可说明这一方案的引用是成功的。由于地连墙与桥墩间增设了 SMW 素桩,有效地控制了桥墩向基坑内的变形和沉降,桥墩的最终倾斜仅为 $0.8H_2/1000$ ( $H_2$ 为桥墩的高度),沉降为 0.89 cm,完全在一级基坑对周边建筑变形的规范要求范围内。但搅拌桩加固工艺同时也带来一些缺点,如导墙下的土体加固搅拌机的垂直控制精度(1/100)远低于地下墙 3/1000 的要求,部分槽段因搅拌桩垂直度不够,成槽机切削搅拌的时间耗费较长,间接影响了槽壁的稳定。

## 3 解决硬土层中成槽的问题,克服硬土层的巨大阻力顺利掘进

施工前考虑的硬土层主要是⑦<sub>-1</sub>、⑦<sub>-2</sub>层草黄色粉砂。两层的标贯击数分别为 29.9 和 58.7 击,

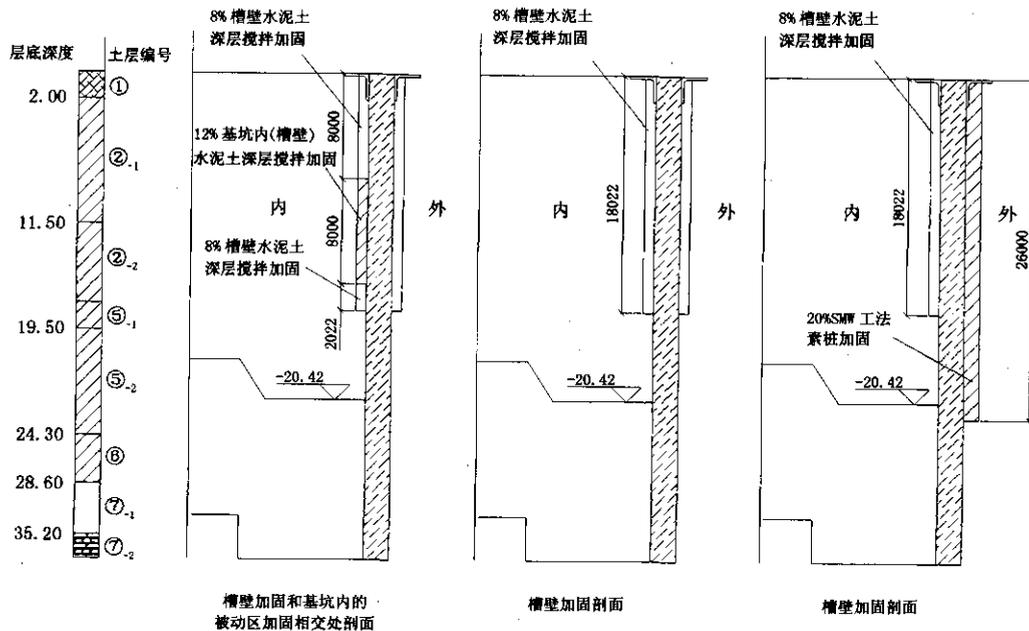


图1 搅拌桩和SMW素桩加固后的槽壁剖面图

比贯入阻力分别为 12.21 和 17.62 MPa ,是非常硬的砂层。解决方法有先钻孔再用重斗强抓等。由于钻孔需要专用机械,移动机械、钻孔的时间又长,所以“两钻一抓”的工艺仅作为备用方案。试成槽时,在开挖过程中却发现,砂层中的阻力不及⑥层暗绿~草黄色粉质粘土。虽然名称均定为粉质粘土,但⑥层显示出很大的粘性,在成槽机穿越 4 m 厚的该层土时比穿越 5~6 m 厚的⑦<sub>1</sub>层粉砂时间还要长。经分析,⑥层土的粘聚力高达 40 kPa,天然重度 19.5 kN/m<sup>3</sup>,孔隙比 0.7,在成槽范围的各土层中最重、最密实且透水性极差。抓斗的沉放、提升甚至开合的阻力都很大。硬砂层对成槽的阻力主要是对抓斗齿的端部阻力,而粘重的粘土层不仅是端部的阻力,更主要的是所有摩擦面上的摩擦阻力。基于“两钻一抓”不适合粘重土的挖掘,同时又为避免机械来回起动和钻机出场的麻烦,我们改用重斗强抓成槽。所选机械为利勃海尔成槽机,机斗重 60 t 配

有垂直度传感仪和液压力纠偏装置,在成槽中,特别适宜本工程土质组成情况,施工质量稳定。

#### 4 结语

通过南浦大桥站地连墙施工的成功实践,有以下 2 点体会:

(1)在浅层土粘聚力很小的条件下,用物理方法处理原土是很有必要的。水泥土搅拌的方法是一种成熟可靠的方法。加固体的强度不宜过高,必须在机械可以挖掘的范围内,一般不应提出无侧限抗压的指标,以标贯击数或比贯入阻力的指标来要求比较合适。

(2)对深层的硬土层的挖掘,并不一定用“两钻一抓”或其他先破碎硬土的方法,如果拥有强有力的挖掘设备不妨优先考虑强挖的方法。有时造成阻力大不一定因为标贯击数或比贯入阻力大,土对抓斗活动的粘滞摩擦阻力也很可观。

### 专家说,我国“考虑”建造 5 条跨海隧道

新华网消息 防护工程专家、中国工程院院士钱七虎在北京举行的中俄工程科技研讨会上介绍说,在最近的 20~30 年内,我国正考虑建造 5 条跨海隧道。

这 5 条跨海隧道分别是大连到烟台的渤海湾跨海隧道,由上海到宁波的杭州湾工程,连接香港、澳门与广州、深圳和珠海的伶仃洋跨海工程,连接广东和海南两省的琼州海峡的跨海工程,连接福建和台湾的台湾海峡跨海工程。

钱七虎是在就“中国岩石(地下)工程的成就、进展和挑战”做报告时做出上述表示的。

我国第一条海底隧道——厦门东通道工程已于年内动工,预计 2010 年建成。项目全长 9 km,跨海主体工程长约 6 km,隧道最深在海平面下约 70 m。第二条海底隧道——青岛到黄岛将于 2006 年动工,全长 5.5 km。

和建桥相比,越江跨海隧道可以不受大雾、台风等气候变化的影响,具有稳定的运行能力和较强的抗地震能力,还可一隧多用。

在上海,穿越黄浦江已建 8 条水底隧道,另外杭州、宁波、南京、武汉、广州、厦门、青岛也已建、在建或筹建越江跨海隧道。其中,上海崇明越江通道工程采用“南隧北桥”方案。