“SMW”工法在上海地铁二号线龙东→张江高科延伸段围护工程中的运用

宣嘉伦　　宣　军
（江阴市建筑安装总公司机械施工公司，江阴，214400）

提　要　介绍上海地铁二号线龙东路→张江上行线基坑围护成功的采用了“SMW”工法，针对“SMW”工法施工技术方面水泥土中的水泥掺量、水灰比、加压插桩、H 型钢回收等技术要点和专用桩机、型钢回收设备作了介绍。

一　概　述

“SMW”工法即在水泥搅拌桩的桩体插入劲芯 H 型钢，形成复合体。再使复合体相互搭接成排，组成挡墙，应用于建筑物或构筑物地下结构基坑的支护体系。显然，水泥土抗渗起止水作用，H 型钢承受挡土结构的弯矩和剪力。而“SMW”工法最精彩之处是等基坑开挖完成，地下结构施工完毕，土方回填后能将 H 型钢从复合体中抽拔出来，经整理后备下次工程再用，从而降低了围护体系的成本。

1.地质情况

地铁二号线龙东路→张江高科上行线工标段，位于龙东路南、龙东路站东。全长约316m，基坑开挖深度 8.45~7.45m，面积为 201.5m²，由上海隧道交通轨道交通设计研究院设计，是“SMW”工法在我国工程应用规模最大的项目。

表 1 各层土物理力学指标

层号	土层名称	层厚（m）	天然含水量（%）	自然容重（kN/m³）	内聚力	内摩擦角
①	填土					
②	褐黄色粉质粘土	1.3-3.0	33.0	1.85	13	13
③1	灰色淤泥质粉质粘土	1.0-2.5	32.5	1.84	13	14.5
③2	灰色砂质粉土	1-3.5	34	1.83	5	24
③3	灰色淤泥质粘土	1.5-5.5	40	1.78	13	13.5
③4	灰色淤泥质粘土	7-10	32.5	1.82	13	10

2.施工设备

表 2 施工设备表

序号	设备名称	规格型号	单位	数量	功能	功率(W)	备注
1.	双立柱组合桩架	JS-II	台	1	悬挂桩机		专利 ZL97.2.4.7576
2.	搅拌机	SJB-5	台	1	制搅拌桩	37×2	
3.	震动锤或柴油锤	DD-18	台	1	插入 H 型钢	1×40	
4.	拌浆机	YJ-II	台	2	拌水泥浆	2×4	
5.	灰浆泵	UB-3	台	4	输浆	4×4	
6.	电焊机	X-300	台	2		2×20	
7.	卷扬机	JM-2	台	1	5t	1×22	双筒调速
8.	卷扬机	JM-1	台	2	2t	2×7.5	2t
9.	卷扬机	JM-1	台	1	1t	1×4.5	1t
10.	经纬仪		台	1	测量		
11.	水准仪		台	1	测量		
12.	卧式离心泵	J0-2-2	台	1	冲泵管	1×7.5	
13.	试模	7.07cm³	套	2			
14.	液压泵		台	1	移位顶升	1×7.5	
15.	拔桩机	JH_1JH_2	台	5	执桩		专利 ZL96.2.433179
16.	吊车	W10t 型	辆	1	吊桩	15t	

二 施工技术

1.水泥掺入量和水灰比

水泥掺入量和水灰比是“SMW”工法中确保工程质量和顺利施工的一个重要指标，在水泥掺入量为定量，水灰比小，水泥土强度就能保证。然而，水灰比小，水泥土的粘稠度高，阻力大 H 型钢插入就困难。水灰比加大，水泥土的粘稠度低，阻力减小，H 型钢一般能依靠自重插入，但水泥土强度达不到预定要求。为确保水泥强度≥1.2MPa，又使 H 型钢能顺利插入，日本引进设备和工艺采用水泥掺入量高，水灰比大的方法。一般水泥掺入量>20%。水灰比 1.6~2.0，实践证明，即是日本工艺，由于土质条件的变化，一个工地也总有一些需采用加压方式才能插入 H 型钢，但水泥掺量高，水灰比大，施工成本增加，不适合我国国情。

按照我国实际情况，采用 15%的水泥掺入量被大家接受的。针对上述要求，我们进行了工艺上改革和大量实际试验。根据试验，在不同土质条件下，控制水灰比在 0.7~1.2 范围内水泥土强度是可以保证的，然而，对水泥土稠度加大，对 H 型钢插入困难进行了工艺上改进，采用加压插入的办法来满足工艺上的要求，并在传统机械设备进行了改造，即可为从事“SMW”工法施工的专用机械设备，既能确保工程质量，施工不困难又降低工程成本。

2.施工工艺

“SMW”工法施工顺序不同于水泥搅拌桩施工，土体搅拌均匀和确保水泥土强度均匀性十分重要，不同土质条件，强调先做试桩再确定正常施工的水灰比大小外，尚应注意以下几点：

(1)确保水泥掺入量和水灰比，严禁偷工减料。

(2)严格控制拌浆输浆工序，发现输浆系统故障要及时处理。

(3)严格控制桩架垂直度达 1/200，桩位是位偏差±3cm 内。

(4)H 型钢焊缝光洁平整，减摩剂涂刷均匀。(减摩剂系石油副产品)

(5)加压插入 H 型钢垂直度为 1/200，定位偏差≤2cm。

(6)H 型钢起拔回收应按工程特点考虑拔桩顺序，型钢起拔严防过拔倾复。

(7)H 型钢回收后，墙体 H 型钢缝隙应注入水泥粉煤灰浆液充填缝隙。

3.“SMW”工法墙体防渗堵漏

“SMW”工法按工法工艺要求施工是不可能出现渗漏，由于施工条件、土质状况、设备完好和操作人员素质产生渗漏。“SMW”工法防渗堵漏和接缝处理一般采用注浆方法，渗漏点先用导管导流后用早强水泥堵漏，较大漏点采用焊贴钢板再洗捣砼方法处理渗漏，转角接缝在墙体施工结束采用树根布袋桩先防患于未然。

三　专用施工设备

1.JS 型“SMW”工法专用桩机是在普通的深层搅拌桩基础上，结合打预制桩设备，使二者组合在一起形成具有二根立柱、双导向的新型专用桩机，从而满足了搅拌桩施工完毕后，随即采用加压方法插入 H 型钢的工艺要求，制桩一气呵成。提高施工效率，降低施工成本。

2.SJB_5 型搅拌机是最新研制成的功率为 45 千瓦、双速、扭矩为 1.4t、多层刀排搅拌深度达 30m 的新型机械，能充分搅拌土体。

3.采用调速卷扬机和大流量喷浆设备使“SMW”工法能适合各种不同的土质条件，保证工程质量的又一个重要条件。使用这种设备的目的是搅拌桩的搅拌时间、提升速度、喷浆量三者能做到合理配合，满足各种设计要求，取得最佳搅拌效果。

4.H 型钢回收的 JH_1、JH_2 型 H 型钢起拔机，为“SMW”工法型钢回收专门研制的。起拔机体积小，起拔力大，操作灵活，其最大起拔力达 400kN。型钢回收率在一般情况下为 100%。

目前，国产设备型钢水泥土复合墙体宽度为 1.2m，日施工 8m，墙体宽度 0.70m，日施工为 15m，H 型钢回收设备每台套日回收 8~10 根。

四　SMW 工法的工程应用

上述工程中上海轨道明珠线宝兴路车站桥墩基坑开挖深度 14m，搅拌桩深度 25.2m，

H 型钢插入深度 24m，结构完成，H 型钢全部回收。由于该工程钻孔灌注桩先行施工，造成不少人为障碍物，恰逢黄梅天气，连天大雨造成基坑墙体施工极大困难，致使专抗墙体出现个别漏点，经处理后仍满足工程进度和基坑开挖安全的需要。工程由 1999 年 6 月开工，9 月 22 日全部结束。

表 3　SMW 工法应用一览表

项目 / 序号	工程名称	围护基坑		型钢水泥复档墙			施工日期	水泥掺入量(%)	备注
		基坑尺寸 (m)	开挖深度 (m)	墙厚 (m)	墙深 (m)	H 型钢			
1	航头顶管工作井	6×7	10.3	1.2	18	H500×200 1 隔 1 排列	1995.12	17	H 型钢全部回收
2	滨江顶管工作井	Φ10m	11.7	1.2	18	H500×200 1 隔 1 排列	1996.8	17	H 型钢重全部回收
3	申海大厦地下车库	58×30	7	1.2	14	H500×300 1 隔 1 排列	1997.2	17	H 型钢全部回收
4	静安寺地下铁车站牵引变电站	32×16	15.8	1.2	14	H500×300 1 隔 1 排列	1998..2	15	H 型钢重复使用并全部回收
5	地铁静安寺站 5 号出入口	6400m²	8m,局部 10.2	1.2	18 20	H500×300 1 隔 1 排列	1998.6	15	H 型钢全部回收
6	地铁二号线凯旋路排水箱涵围护工程	192×27	8-11.5m	1.2	16 20	H500×200 H400×200	1998.1	15	H 型钢回收
7	地铁二号线陆家嘴站 5 号出入口工程	51.7×10.5	11.5	1.2	21	H500×300 连续 1 隔 1 排列	1998.12	16	H 型钢重复使用回收
8	上海交通轨道明珠线长宁路车站	86.5×25.4	6.96	1.2	8 14	H500×200 1 隔 1 排列	1998-2	15	H 型钢重复使用回收
9	地铁二号线龙东张江延伸段	320×5	9	1.2	17.9	H500×200 @1000	1999.5.1	15%	同上
10	轻轨明珠宝兴路车站	10×8.5×4	14	1.2	25.2	H500×200 H600×200 @1000	1999.6	16%	同上

五　“SMW”工法工程造价

本工程从开挖到结构底板全部完成时 60 天，监测频率为一天一次，墙体放大位移量 δ_{max}=18cm。

由于专用设备一机二用、施工速度快，型钢起拔机能确保 H 型钢回收后再利用，使工程成本降底。根据工程对比，一般情况下，采用 SMW 工法做成的基坑围护体系为钻孔灌注桩造价的 80%，若工程大量采用，有望进一步降低造价。

例，上海地铁二号线的龙东路→张江上行线段为 632 延米，采用“SMW”工法价为 580 万，每延米价 9170 元/米，其中 132 延米，由于高压线采用钻孔灌注桩方案，造价为 158 万，每延米价为 12000 元/延米，相比之下“SMW”工法造价节约了近 30%。目前“SMW”工法比价按墙体 1.20m 宽、H 型钢间距 1 米、一般价格约 450 元/m^3，若墙体厚度为 0.70 米，价约 700 元/m^3 左右。

地铁二号线龙东→张江高科上行线的工程实践，“SMW”工法具有工期短、造价低、基坑无渗漏、挡土止水性能好、围护体刚度大、对环境基本无污染等优点。建设部建科[1999]126 号文件，“SMW”工法被列入 107 项科技推广项目。上海市建设委员会沪建教(99)第 0586 号文件把“SMW”工法作为上海建设科技十项重点推广项目，其应用前景看好。

参考资料

[1] 程晓，张凤祥编著：《土建注浆与效果检测》，同济大学出版社，1998.8。

[2] 傅德明，张冠军：《SMW 围护在上海地区开发和应用》，上海交通大学出版社，2000.1。

[3] 张冠军：《“SMW”工法在申海大厦中的应用》，见《施工技术》，1998.8。