

超深 SMW 工法桩在地铁深基坑中的应用及变形控制

文 / 徐万春 中铁四局集团有限公司 安徽合肥 230023

【摘要】 SMW 工法桩作为一项城市地铁施工常用的围护结构形式，具有成桩速度快、止水效果好、地层扰动小、型钢可回收、施工成本低等优势。根据施工特点，对超深 SMW 工法桩在地铁深基坑中的应用进行了研究，通过对开挖各阶段的实际变形与计算结果对比分析，解决了超深 SMW 工法桩在地铁深基坑开挖过程中的变形问题，对类似超深围护结构施工提供借鉴意义。

【关键词】 地铁隧道；SMW 工法桩；深基坑；围护结构

【Abstract】 As a common form of retaining structure for urban subway construction, SMW construction method pile has the advantages of fast pile-forming speed, good waterproof effect, small stratum disturbance, recyclable steel, and low construction cost. Therefore, according to the construction characteristics, the application of ultra-deep SMW pile in deep foundation pit of subway is studied. Through the comparative analysis of the actual deformation and calculation results in each stage of excavation, the deformation problem of ultra-deep SMW pile in deep foundation pit excavation of subway is solved, which provides reference for the construction of similar ultra-deep retaining structure.

【Keywords】 Subway tunnel; SMW construction method pile; Deep foundation pit; Building envelope

【DOI】 10.12334/j.issn.1002-8536.2022.07.029

引言：

随着城市地铁建设开通的线路的不断增多，越来越多的线路向城市人口稠密、交通繁忙的区域挺进，因此地铁建设需面对更严格的安全施工、文明施工、绿色施工等要求。而 SMW 工法 [1-3] 工时噪声小，土体扰动小，不会造成临近地面沉降等特点，可广泛用于黏土地层、砂土等地层中。

因此基于某地铁深基坑段，采用 SMW 工法桩进行施工应用，并对各开挖阶段中的实际变形与理论计算变形特征进行对比。

1、工程实例

1.1 工程背景

苏州 S1 号线花桥区间南侧明挖段，位于沿沪大道东侧绿地内，其基坑标准段宽度为 11.42 至 15.91m，开挖深度约为 14.1 至 15.1m，长度为 204m，施工工艺采用 SMW 工法桩，其桩身规格为 $\phi 850@600$ ，工法桩内采用 H700 \times 300 \times 13 \times 24 型钢密插。该工法桩桩身 30m，相比于常规工法，按深度分类属于超深工法桩。

本工程中所涉深基坑共设置 4 道支撑，第一道为混凝土支撑，尺寸为 800 \times 900，水平间距 9.0m；第二、三、四

道为 $\phi 609 \times 16$ mm 钢支撑 + 双拼 HN500 \times 300 钢围檩，横向间距 3.0m。

1.2 水文地质情况

基坑内土层分布如图 1 所示：① 杂填土、② 1 粉质黏土、② y 淤泥质粉质黏土、③ 1 粘土、③ 2 粉质粘土、③ 3 粉土夹粉砂。其中② y 淤泥质粉质黏土作为典型的软土层，呈灰色，流塑，含水率 42%，稍具层理，夹少量薄层状粉土，稍有光泽，干强度中等，韧性低，无摇振反应，压缩性高，灵敏度高。工法桩底成桩范围还有④ 2 粉土夹粉砂，底部嵌入至⑤ 1 粉质黏土中。场地潜水主要赋存于① 1、① 3、② y 层，水位埋深约 1.0m；微承压水主要赋存于第③ 3、③ 31、④ 2 中，隔水顶板为③ 1、③ 2，隔水底板为⑤ 1。主要岩土物理力学参数如表 1 所示。

2、SMW 工法桩施工过程控制

2.1 施工工艺控制

SMW 工法桩采用 P.O 42.5 水泥，为保证超深桩体成桩效果，水泥掺量由 20% 提高至 25%。成桩时钻杆下沉速度 0.8m/min，提升速度 0.4m/min，采用“二喷二搅”、套接一孔施工工艺，型钢密插，施工过程中应严格控制各项施工参数。

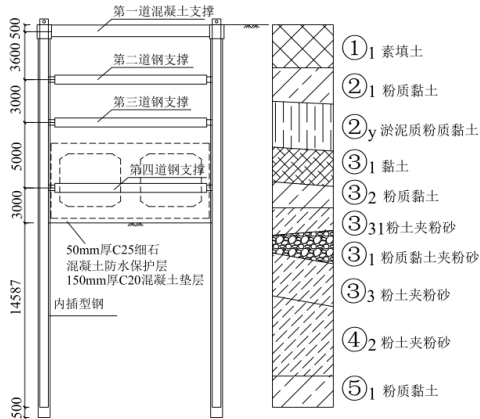


图 1 围护结构断面图

土层名称	含水量 ω (%)	重度 γ (kN/m ³)	孔隙比 e	静止侧压力系数 k ₀	渗透系数 k (cm/s)	承载力特征值 f _{sk} (kPa)	钻孔桩桩基系数 (kPa)
杂填土		21.0		0.75	7.0E-03		
粉质黏土	31.3	19.0	0.886	0.60	6.0E-05	75	25
淤泥质粉质黏土	42.6	17.7	1.204	0.80	7.0E-06	55	15
黏土	26.2	19.9	0.741	0.40	2.0E-06	180	50
粉质黏土	30.5	19.1	0.863	0.45	5.0E-06	150	45
粉土夹粉砂	29.0	19.2	0.815	0.56	3.0E-03	135	30
粉质粉土夹粉砂	31.7	18.9	0.898	0.62	5.0E-05	100	30
粉土夹粉砂	29.3	19.2	0.820	0.54	5.0E-03	140	38
粉质黏土	33.4	18.7	0.943	0.75	7.0E-06	100	28

表 1 主要岩土物理力学参数表

(1) 测量定位。根据基坑围护边线开挖沟槽(尺寸为 1000(宽)×1200(深)mm),为保证搅拌桩正常施工,同时清除地下障碍物。由于本工程开挖深度较深,考虑到 L/200 垂直度要求及后期围护结构变形量,需对围护结构外放 10cm,沿长边方向设置定位型钢。

(2) 成桩。泥浆配置采用自动称量搅拌系统,使用前进行校准,保证泥浆比重。在桩底部分重复搅拌注浆,停留 1 分钟左右,提升至设计标高后,桩头应原位搅拌 0.5 分钟,消除桩顶因水泥浆析出造成的凹穴。水泥浆配制好后,停滞时间不得超过 2 小时,搭接施工的相邻搅拌桩施工间隔不得超过 24 小时。按照“二喷二搅”的工艺要求,保证注入的水泥浆液与土体搅拌均匀。

然后进行型钢的插入,型钢定位卡必须牢固、水平,为保证型钢吊放垂直度,型钢使用前,在腹板上距其顶端 30cm 处开一个中心圆形吊装孔,孔径约 8cm,型钢起吊后用全站器校核垂直度及插入偏差,垂直度不大于 L/400,插入后误差不得大于 50mm,且宜插在远离基坑一侧;最后,进行型钢拔除工作,结构施工完成并完成顶板回填后,采用专用起拔设备以冠梁提供反力,25t 汽车吊配合进行型钢的拔除工作,拔除过程中应沿已有焊缝进行分割,保证吊装安全。拔除型钢后,用 6%~10% 的水泥浆填充型钢拔除后的空隙。

2.2 深基坑开挖控制

基坑开挖前二十天采用降水并对基坑进行预降水、疏干。待围护结构强度达到设计要求,材料设备检测合格并完成相应条件验收后可按照方案进行深基坑开挖施工,具体如下:

(1) 基坑开挖主要控制措施

① 基坑开挖分层、分段、分单元实施,基坑分段以设计分段为准,每段开挖完成后立即浇筑素砼垫层并加快底板施工。分层开挖深度宜以上道支撑底至下层支撑底部以下

50cm,开挖以 6m~8m 宽(2 根支撑)为一个单元。每一单元应在 16h 内开挖完成,并在 8 小时内完成支撑架设。土方开挖与支撑施工相互交替进行,遵循“随挖随撑,分层开挖,严禁超挖”的原则。

② 分层开挖掏槽过程中,中部槽宽应以挖机正常作业为宜(6m~8m),基坑两侧应预留土堤护壁宽度不得少于 3m,尽量减少因开挖卸载而引起的基坑变形。开挖过程中机械距离基坑边缘距离不得小于 1m,桩体后超载 ≤ 20kPa,所有机械设备在不作业时均须远离基坑。工法桩围护结构形式在开挖过程中应做到桩体基面平整,便于后续支撑架设及防水施工。

③ 开挖过程中,密切关注监测及渗漏水情况,一旦发现渗漏水需及时封堵。严防小漏变大漏。其控制措施主要为,对渗漏水较小且主要为清水的渗漏水,可直接设置引流管。对于大的渗漏水部位,可先在基坑内采用沙袋错层反压,平衡坑外土体压力,然后在坑外采用后退式注浆机进行双液浆(水泥浆+水玻璃)封堵,双液浆出口处浆液凝固速度宜控制在 30s~40s。

为减少注浆压力过大导致围护结构变形,注浆范围宜为渗漏水点以下 3m 至渗漏水点以上 2m,渗漏水点下部注浆压力控制 0.5~1.0MPa,渗漏水点上部可减小至 0.4MPa,注浆过程中需对渗漏水位置观察,待浆液流出后可缓慢上提钻杆,提速可控制在 20cm/min 左右,待提升至渗漏水点以上时注浆过程中若出现压力突变,需及时停注并查明原因。

④ 土方开挖过程中确保基坑内降排水系统正常,避免开挖面或基底被水浸泡扰动。

(2) 支撑系统控制措施

钢支撑系统架设的时效性和架设质量是基坑变形控制的重中之重,钢支撑架设主要注意以下几点:

① 做好进场材料验收和检测,外观尺寸、规格型号及材料性能符合设计要求,并做好加压设备的标定。加快工序转换与衔接,确保 8 小时之内完成架设及施压工作。

② 钢围檩后填充应做到密实有效,宜采用早强细石混凝土,钢支撑轴力施加前达到初凝效果,确保围护结构整体受力。支撑活络端上下、左右错开布置,活络头钢楔不小于 40cm,采用数控机床切割保证精度,减少敲紧后的形变和轴力损失,施加轴力后活络头伸出长度部不大于 15cm。

③ 预加轴力按照设计轴力的 120% 施加,共分 5 个阶段,分别为预加轴力的 40%、60%、80%、100%、120%。轴力计两端应设置不小于 400×400×50mm 钢板,避免加压后钢支撑固定端及围檩受力变形,出现无法有效加压的情况,一旦发生钢支撑端部变形,应对固定端节段进行更换。

④ 每根钢支撑架设完成后,应及时设置上挂下托装置,并在 12~14 小时内观察轴力损失及围护结构的水平位移情况,当昼夜温差过大或基坑开挖后导致支撑轴力损失时,应及时复加轴力并满足设计值要求。

3、数据对比

结合本站地质情况及围护结构形式,按照本站点工法桩部位围护结构最大开挖处工况进行模拟,根据启明星 FRWS V9.0 计算结果可知:

(1) 如图 2 所示, 在基坑开挖至坑底, 底板未浇筑前, 为正弯矩最大工况, 单根工法桩承受最大弯矩 445.9kNm。理论最大水平位移为 15.5mm, 深度为 14m。

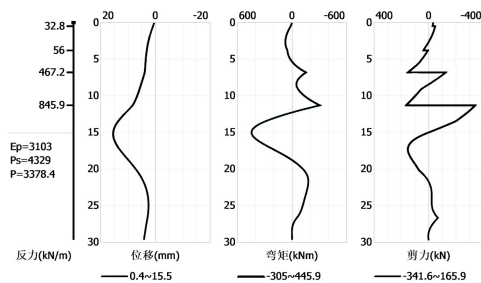


图 2 开挖至基坑底 (15.1m)

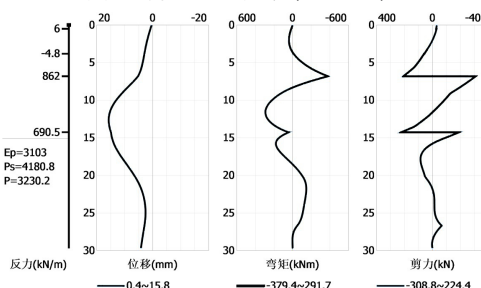


图 3 拆除最下道钢支撑

(2) 如图 3 可知, 底板浇筑后, 拆除最下道支撑, 为负弯矩和工法桩水平位移最大工况。单根工法桩承受最大弯矩 379.4kNm。理论最大水平位移 15.8mm, 深度为 13m。

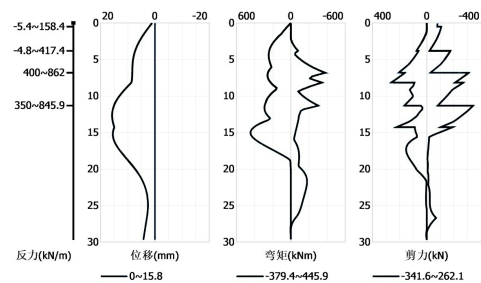


图 4 变形内力包络图

为验证计算结果, 对开挖各阶段及支撑架设工作进行了系统性的策划, 并按照方案要求对基坑进行各项监测工作, 本文主要对基坑开挖及钢支撑架设各阶段实际桩体水平位移变化与理论值进行对比, 通过分析, 判断出施工过程中的不足和后期改正措施, 实际开挖监测情况如下所示:

(1) 开挖至第一道钢支撑底部。第一道支撑底部距地面约为 4.2m, 按照方案第一层土开挖至支撑底部 50cm, 即开挖面深度约 4.7m, 在未架设支撑时累计最大桩体水平位移量为 +3.92mm, 深度为 6m。

(2) 开挖至第二道钢支撑底部。第二道支撑底部距地面约为 7.2m, 即开挖面深度为 7.7m, 在完成第一道支撑架设, 第二道支撑未架设时的最大桩体水平位移量为 +3.5mm, 深度为 8.5m。

(3) 开挖至第三道支撑底部。第三道支撑底部距地面约为 12.2m, 即开挖面深度为 12.7m, 在完成第二道支撑架设, 第三道支撑未架设时的最大桩体水平位移量为 +12.48mm,

深度为 14.5m。

(4) 开挖至基底。设计至基底开挖面深度为 15.1m, 在完成第三道支撑架设, 最大桩体水平位移量为 +15.11mm, 深度为 13m。

(5) 底板施工完成拆除第三层钢支撑。底板混凝土达到设计强度并拆除第三道钢支撑, 监测最大桩体水平位移量为 +14.1mm, 深度为 12.5m。

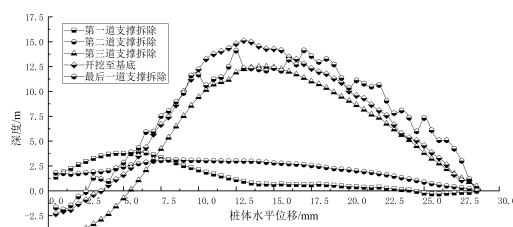


图 5 开挖各阶段桩体水平位移图

通过上述实测数据及图 4-5, 并结合理论计算数据, 在开挖各个阶段实际桩体水平位移值与开挖至基底的内力包络图中位移变化基本相符。

在最后一层土方开挖完成后, 实际累计变化数据最大值为 +15.11mm, 深度位于 13m 位置与理论计算稍有偏差, 经分析主要是施工过程中为满足最后一层机械施工高度, 与设计院核定后将支撑中心标高上抬 70cm 所致。在拆除第三道支撑后, 累计水平位移变化值为 +14.1mm 与理论值 +15.8mm 相比稍小, 基本符合计算结果。表明基坑开挖各工序衔接良好, 同时反映超深工法桩在地铁深基坑中有较好、较安全的应用。

结语:

(1) 在开挖过程中通过对开挖深度、开挖长度、降水、及支撑系统等施工各方面的协调控制, 将现场监测所采集的最大变形量与理论计算值所对比, 发现基坑各项监测数据与理论值吻合度较好, 未出现预警情况。

(2) 通过结合 SMW 工法桩具备工期短、扰动小、造价低、止水性能好等优点, 并且在超深 SMW 工法桩围护结构施工全过程的质量控制过程来看, 超深工法桩在类似地铁工程中能有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 蒋孔林. SMW 工法桩在深基坑支护施工中的应用 [J]. 中国建筑金属工程, 2021,(11):148-149.
- [2] 刘建. SMW 工法桩在深基坑中的运用 [J]. 山西建筑, 2018,20(44):72-73.
- [3] SMW 工法桩施工作业标准 [Z].
- [4] GB50202-2018, 建筑地基基础工程施工质量验收规范 [S].
- [5] JGJ/T199-2010, 型钢水泥土搅拌墙技术规程 [S].

作者简介:

徐万春 (1982.10-), 男, 汉族, 安徽省安庆市人, 本科学历, 高级工程师, 主要从事地铁施工管理工作。