

SMW 工法桩在苏州市轨道交通 4 号线的应用分析

钟 兴

(中铁十二局集团城市发展有限公司, 江苏 苏州 215000)

摘 要 本文详细研究了 SMW 工法桩在苏州轨道交通 4 号线延伸线工程中的应用。介绍了 SMW 工法桩的起源、原理及在基坑开挖围护中的作用。以该延伸线工程为例, 阐述了工程概况、地质及水文条件。深入分析了 SMW 工法桩的施工工艺, 包括施工工序、水泥浆液制备及注入、型钢插入与固定以及型钢拔除等关键环节。同时, 探讨了施工过程中的质量控制措施, 以期为确保桩身强度和均匀性提供有益参考。实际应用表明, SMW 工法桩在该工程中成功应用, 实现了型钢的重复利用, 有效节约了项目成本。

关键词 SMW 工法桩; 轨道交通; 水泥浆液制备; 型钢插入; 型钢拔除

中图分类号: U12

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.09.019

0 引言

SMW 工法桩围护结构凭借其先进的技术特点, 在基坑开挖围护领域应用广泛, 尤其在阻隔基坑外侧的地下水与流沙上表现突出。施工时会用到多轴钻掘搅拌机(三轴搅拌机), 钻进土体时一边钻一边搅, 同时通过钻头的喷浆孔喷出水泥浆, 和地基土充分混合拌匀。而且每段钻进的区域都得重叠搭接施工, 避免留下未搅拌的空隙^[1]。钻进结束后, 在水泥土混合体凝固前, 插入 H 型钢或钢板做加固, 提升整体强度, 待水泥土硬化后, 就能形成一道强度和刚度都在线、连续无断缝的地下围护墙。SMW 工法桩在保障基坑施工安全稳定上起到了重要的作用, 深入探讨其在实际工程中的应用具有重要的现实意义。

1 工程概况

1.1 项目简介

苏州市轨道交通 4 号线延伸线工程(观塘路~龙道浜)意义重大, 它北起观塘路站, 南至 4 号线既有起点龙道浜站, 线路全长 7.13 千米。其中, 出场线为单线, 平面采用 2 段曲线, 曲线半径均为 250 米, 线路呈单向坡, 竖曲线半径均采用 2 000 米。出场线地下暗埋段区间结构采用混凝土箱型结构, 断面宽度为 6.0 米(局部宽 7.8 米), 高度在 6.4~7.25 米之间, 底板埋深约 7.0~15.4 米, 采用明挖法施工。围护结构结合了地下连续墙及工法桩, 地下连续墙厚度为 600 毫米, 工法桩采用 $\phi 850@600$ 的规格, 设置了 3 道支撑,

第一道为钢筋砼支撑, 第二、三道采用 609 钢支撑。

1.2 工程地质及水文概况

工程场地处于太湖水网平原区, 地质条件较为复杂。浅部填土厚度在 1.8~11.5 米之间, 下部②层为软弱土, 工程性质较差, 这给施工带来了一定挑战。③层为灰黄、褐黄色可~硬塑黏性土或稍密~中密砂粉土, 性质相对较好。下部主要以灰色土为主, 包括软~可塑状黏性土、稍密~密实状粉土、粉砂层等。拟建场地岩土种类繁多, 地层变化大, 这就要求施工过程中要根据不同地质条件采取相应的施工措施。根据地下水埋藏条件, 该工程沿线地下水主要分为孔隙潜水、微承压水及承压水。苏州地区降雨集中在 6~9 月份, 在此期间, 地下水位一般达到最高。地下水的存在对基坑施工影响较大, 需要采取有效的防水、排水措施, 以确保施工安全和工程质量。

2 SMW 工法桩施工工艺

2.1 施工工序

SMW 工法施工主要有两种方式, 一种是单排咬合式连接, 另一种是跳槽式全套复搅式连接(见图 1、图 2)。这两种顺序都能很好地实现连续加固土体的目的^[2]。现场施工时, 阴影区域属于重复套钻的范围, 这样的设计能保障墙体的连贯效果与接头部位的施工品质。借助重复套钻的操作, 既能保证水泥搅拌桩的有效搭接, 还能对施工桩体的垂直度进行校正, 最终实现理想的止水成效。

作者简介: 钟兴(1988-), 男, 专科, 工程师, 研究方向: 工程施工。

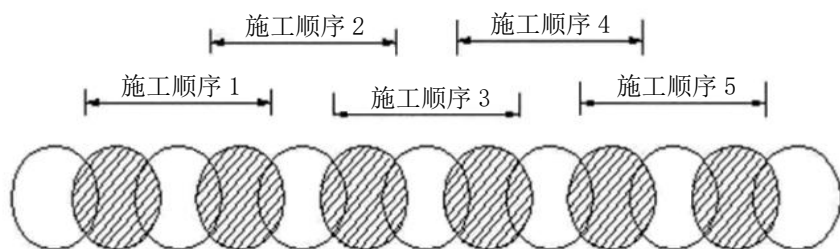


图 1 单排咬合式连接

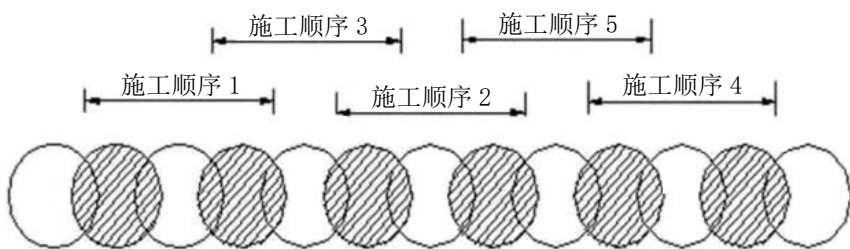


图 2 跳槽式全套复搅式连接

2.2 水泥浆液制备及注入

本工程中搅拌桩直径为 $\phi 850$ ，SMW 工法桩及止水帷幕相邻桩采用套打的方式。成桩选用 42.5 级的普通硅酸盐水泥，对水泥质量要求较高。制备好的浆液严禁离析，泵送过程必须保持连续。为了确保施工质量，拌制水泥浆液的罐数、水泥和外掺剂用量、流量泵流量、下沉和提升时间以及泵送浆液的时间都安排专人进行详细记录。水泥浆配制好后，停滞时间不得超过 2 小时，因为超过这个时间，浆液的性能可能会发生变化，影响成桩质量^[3]。搭接施工的相邻搅拌桩施工间隔不得超过 24 小时，若超过此时间限制，须在外侧补桩或采用高压旋喷桩加固，以保证基坑的安全。在施工围护结构的搅拌桩时，每机每班要求做一组以上水泥搅拌桩试块，搅拌桩 28 天龄期无侧限抗压强度要求不小于 1.0 MPa。

水泥浆液的水灰比严格控制在 1.5:1，施工前需通过试配确定最佳配比，确保浆液在满足流动性的同时具备足够的后期强度。浆液制备采用自动计量搅拌系统，将水泥、水及必要的外掺剂按设定比例投入搅拌罐，搅拌时间不少于 3 分钟，以保证浆液均匀性。注浆时采用注浆泵通过钻杆内的注浆通道从钻头喷口压入土体，注浆压力控制在 0.5 ~ 1.0 MPa，根据地层情况动态调整，避免压力过大造成地表隆起或浆液流失。在钻头下沉和提升过程中，注浆需连续进行，下沉速度控制在 0.5 ~ 1.0 米 / 分钟，提升速度不大于 1.5 米 / 分钟，确保水泥浆与土体充分搅拌混合。施工过程中，技术人员需实时监测浆液比重、注浆量及钻进参数，

发现异常及时停机检查，必要时调整浆液配比或施工工艺，确保每延米水泥用量达到设计要求，从而保障搅拌桩的整体止水和承载性能。

2.3 型钢插入与固定

1. 本工程选用的 H 型钢是 Q235B 材质，这种材质刚好方便后续回收复用，契合环保节能的理念。往施工处插 H 型钢之前，需先给型钢热涂减摩剂——用电热丝将固态减摩剂加热至融化成液体，随后均匀涂抹到型钢表层，如此便能降低插装与拔出过程中的阻力。

2. 水泥土搅拌桩施工完成后，吊机需及时到场，为 H 型钢的吊放做好准备，吊放孔径为 50 毫米。该工程采用 25 吨汽车吊进行起吊，确保起吊作业的安全与平稳。H 型钢的插入时间需严格把控在搅拌桩施工完成后 3 小时内，毕竟水泥石的强度会随时间推移不断提升，超出这个时限再插，不仅费劲还可能影响型钢与水泥石的结合效果。

3. 布设定型钢卡后，将 H 型钢顺着定位卡缓缓嵌入水泥土搅拌桩体中。嵌入 1 ~ 2 米深度时，借助线坠校正型钢的垂直度，确保植入位置准确无误。调整好之后继续往下插，让它在围护结构中充分发挥加固作用。

4. 当 H 型钢插至设计标高时，得按实际情况灵活处理。如果型钢底标高高于搅拌桩底标高，就用 $\phi 20$ 吊筋固定，把标高控制在设计要求内，防止后续施工中位移；倘若两者底标高相同，便无需用吊筋进行固定。溢出的水泥石需由挖掘机及时清理，为后续作业提供便利，还能让施工现场始终整洁规整。

5. 待水泥土搅拌桩达到规定硬化标准, 便可拆除吊筋及槽沟定位型钢, 为后续工序做好铺垫。

6. 若H型钢未能插至设计标高, 可先将其向上提升, 再反复向下插入, 直至满足设计标高要求, 保障围护结构质量符合标准。

2.4 型钢拔除

主体结构竣工且地面复原完毕后, 便要启动H型钢的拔除作业。借助专用夹具与千斤顶配合, 将圈梁作为反梁进行起拔回收, 使型钢得以循环利用。型钢拔除后, 需及时用砂浆填充空隙或是注浆封孔, 把控变形程度, 防止型钢拔除后引发周边土体沉降, 进而保障工程的安全稳固。

1. 拔H型钢前, 平整场地可是关键准备步骤。得先把冠梁上的土清掉, 作业面的杂物得清理干净, 确保16吨吊车具备起拔型钢的条件。该16吨汽车吊自重24.3吨, 后轮间距1.8米, 需在型钢内侧6.5米外规划妥当作业区域, 同时要预留型钢拔除后的堆放空间与运输路径, 保障施工过程顺利开展。

2. 安装千斤顶时, 将两台QD-200T型千斤顶平稳放置在顶圈梁上。先由吊车吊起待拔H型钢两侧的起拔架, 把起拔架冲头的“哈夫”圆孔对准H型钢上部的圆孔后套入, 随后插入销子, 两侧用开口销锁紧, 防止销子脱落。之后向起拔架与H型钢翼缘之间嵌入锤型钢板, 将型钢夹紧, 为后续拔除作业做好铺垫。

3. 起拔型钢的过程中, 先开启高压油泵, 两台千斤顶同步向上顶推起拔架的横梁, 正式启动起拔作业。待千斤顶行程达到设定值, 便将锤型钢板敲离, 起拔架随千斤顶缓缓复位。进行第二次起拔时, 吊车需用钢丝绳穿过H型钢上部的圆孔, 将其吊稳。重复以上步骤就能把H型钢拔出来, 保证型钢能安全顺当地脱离围护结构。

3 施工质量控制

3.1 确保桩身强度和均匀性要求

1. 施工进行期间, 需定期在现场核查压浆泵流量、水泥浆调制情况、浆液配比等核心参数, 这些参数会直接关乎桩体的成型质量。调配完成的浆液不能出现离析现象, 通常要在2小时内用完, 这样才能确保浆液性能保持稳定^[4]。例如: 如果浆液离析, 会导致水泥和水分离, 注入土体后无法形成均匀的混合物, 从而影响桩身的强度。

2. 压浆作业期间, 输浆管道的核查工作尤为关键。得保证浆管没有堵塞情况, 也不会出现漏浆问题, 让水泥浆可以持续流动。整根桩的注浆操作必须均匀进行, 不能出现水泥土固结不一致、存在夹心层的现象。

如果输浆管道出现堵塞或者漏浆问题, 会造成部分区域水泥浆注入量不够, 进而形成薄弱部位, 对桩身的整体强度产生影响。

3. 水泥流量、注浆压力、水泥掺量采用设备电脑自动控制, 同时设置专人检测水泥浆的比重。通过自动控制和人工检测相结合的方式, 能够更准确地控制施工参数, 确保桩身质量符合设计要求。例如: 电脑自动控制可以根据预设的参数精确控制水泥流量和注浆压力, 而专人检测水泥浆比重可以及时发现浆液配制过程中的问题, 保证浆液质量。

3.2 确保桩身均匀性

在SMW工法桩施工过程中, 桩身均匀性差是一个常见问题。为预防此类情况发生, 施工前要对施工设备进行全面检查, 确保其处在良好的工作状态。例如: 检查搅拌机的搅拌叶片是否磨损严重, 如果叶片磨损会影响搅拌效果, 导致桩身不均匀。选择合适的施工工艺也至关重要, 根据不同的地质条件选择相应的施工参数和方法^[5]。拌浆机搅拌时间不少于2分钟, 增加拌合次数, 保证拌合均匀。提高搅拌转数、降低钻进速度, 边搅拌边提升, 这些措施可以提高桩身均匀性。例如, 在软弱土层中, 适当降低钻进速度, 增加搅拌次数, 可以使水泥浆与土体充分混合, 形成均匀的桩身。

4 结束语

SMW工法桩在苏州轨道交通Y-IV-SG-01标五工区出场线(元和停车场至莫阳站)明挖区间标段基坑围护施工中的成功应用, 充分展现了其独特的优势。通过合理的施工工艺和严格的质量控制措施, 不仅实现了型钢的重复利用, 有效节约了项目成本, 还为工程的顺利实施提供了可靠保障。这种工法在类似工程中具有广泛的应用前景, 值得进一步推广和研究。未来, 随着技术的不断发展和创新, SMW工法桩有望在更多领域发挥重要作用, 为工程建设带来更大的经济效益和社会效益。

参考文献:

- [1] 王辉.SMW工法桩在地铁深基坑工程中的应用[J].冶金管理,2022(09):124-126.
- [2] 康璞,王烁,吴梦龙,等.SMW工法桩与组合型钢支撑在软土地区的应用[J].绿色科技,2023,25(08):255-258.
- [3] 肖磊.SMW工法桩施工技术质量控制探析[J].建设机械技术与管理,2025,38(05):92-93.
- [4] 郑永红.地铁明挖区间施工技术 with 风险应对措施[J].中国高科技,2025(06):139-141.
- [5] 蔡宗洋.地铁盾构穿越施工地块的相互影响分析[J].四川建材,2023,49(06):114-116.