DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.260148

静压植桩在上海堤防工程施工技术研究

田爱平[1],陈邱云[1],母冬青[2]
[1.上海市水务建设工程安全质量监督中心站,上海市 200237;2.上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘 要: 针对上海堤防工程中桩基设计与施工存在的现实问题,论证钢板桩静压施工的必要性与可行性,为堤防工程施工管理提供技术支撑。通过对上海堤防工程中钢板桩设计与使用情况开展详细调查,系统分析施工质量管控要点及施工方式,综合评估钢板桩静压施工工艺在规范化管理、环境影响控制等方面的适用性。研究结果表明,钢板桩静压施工在环保性、适宜性、经济性、便捷性和安全性等方面均具有显著优势,该工艺有助于提升水利工程的施工形象,有效减少对周边环境及居民生活的干扰,可为上海市堤防工程施工管理提供有力的技术支撑。

关键词: 钢板桩;静压施工;质量控制;安全影响
中图分类号: TU473.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-7716(2026)11-0364-05

Research on Construction Technology of Static Pressure Pile Driving in Shanghai Embankment Projects

TIAN Aiping[1], CHEN Qiuyun[1], MU Dongqing[2]
[1. Shanghai Water Construction Engineering Safety Quality Supervision Center, Shanghai 20023, China; 2. Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: Addressing the practical challenges in pile foundation design and construction for the embankment projects in Shanghai, the necessity and feasibility of static pressure construction of steel sheet piles are demonstrated, thereby providing technical support for management of embankment engineering. Through a detailed investigation into the design and application of steel sheet piles in the embankment projects of Shanghai, the key points of construction quality control and the construction methods are systematically analyzed, while the suitability of the static pressure construction technique of steel sheet piles is comprehensively evaluated in terms of standardized management and environmental impact control. Studies result indicate that the static pressure construction of steel sheet pile offers significant advantages in terms of environmental friendliness, suitability, cost-effectiveness, convenience and safety. This technique enhances the visual appeal of water conservancy projects, effectively reduces the disturbance to the surrounding environment and resident lives, and provides robust technical support for construction management of embankments in Shanghai.

Keywords: steel sheet pile; static pressing construction; quality control; safety impact

0 引 言

近年来,上海市在河道及堤防管理(保护)范围内施工项目越来越多,桩基施工对邻近防汛墙和周边构筑物(跨河、穿河、沿河构筑物)造成的安全问题逐步凸显,如邻近房屋段的处理、排放口的处理、管线穿越段的处理、地铁保护段的处理、跨河桥梁段的处理等,同时堤防施工质量受周边环境制约而良莠不齐。

目前传统的沉桩机械主要有冲击式打桩机械、振动打桩机等。但对于构筑物较多的河道空间施工,传统打桩作业引起的施工安全问题较多。为了增强工程质量管控,减轻施工影响。施工采用了基本无振动、无噪音的静压工法,从而解决了沿线房屋动迁难题,缩短了工期。静压植桩工艺不影响沿线单位的生产作业,施工不受天气影响,可克服上部障碍,低空施工,解决了其他桩型无法施工的弊端。

日本压入工法(Giken 公司技术体系)、欧洲钢板桩 EN 规范体系、低噪声施工标准等对钢板桩静压施

收稿日期:2026-02-09
作者简介:田爱平(1970—),男,硕士,正高级工程师,从事水务工程质量安全监督工作。
通信作者:陈邱云(1984—),女,工学学士,高级工程师,从事水务工程质量安全监督工作。电子信箱:271326933@qq.com

工有着较为完善的体系，但国内钢板桩中的应用研究多着眼于海工建筑物、大型市政基坑开挖等方面[1]，而针对堤防工程（非建筑基础）场景下静压钢板桩的专项施工规范尚不完善，并且目前上海市对于在水利堤防中静压钢板桩的施工定额尚未有明确参考值。因此，本文结合上海市堤防施工特点，从静压钢板桩施工适宜性、空间受限下的施工、钢板桩拼接工艺、接桩质量检查、施工质量控制、定额造价等方面开展上海堤防工程施工技术研究。

本文研究分析框架见图 1。

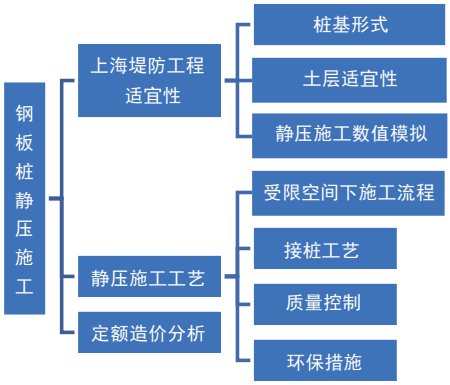


图 1　本文研究分析框架

1　静压施工工法原理

自行走钢板桩静压技术采用了区别于常规打桩设备的全新桩基贯入方式原理，其设备构成见图 2。

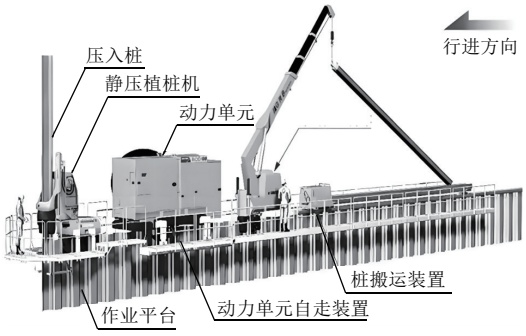


图 2　钢板桩静压设备构成图

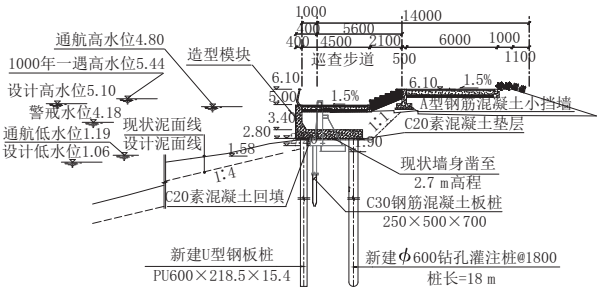
静压植桩机的工作模式是夹紧多根已沉入地面的桩体（完成桩），以其拔出阻力作为反作用力，借助静荷载将下一节桩体压入土层的"压入机理"。该工艺可以取得良好的施工效果，弥补振动打桩法的不足，在保证进度的前提下，在最大程度上减小城市建设环境受到的施工影响[2]。

2　静压钢板桩在上海堤防中的适用分析

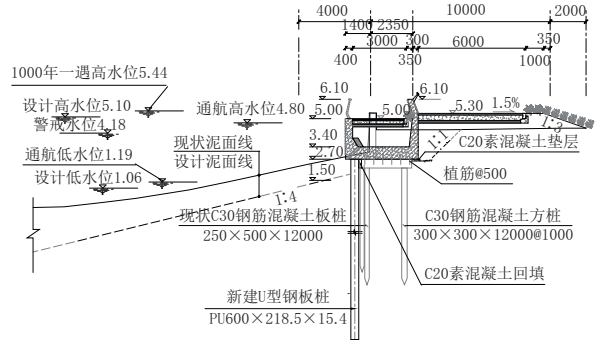
静压钢板桩施工工法可应对各种复杂施工环境，如倾斜地段、水上作业、近距离施工、克服上部障碍施工等，适用于航道护岸、水利堤防、船闸闸室墙、工程基坑支护、围堰等工程部位。

2.1　钢板桩在上海堤防工程永久结构中的应用

钢板桩用于堤防永久结构示意图见图 3。



（a）双排骑跨结构断面图



（b）单排骑跨结构断面图

图 3　钢板桩用于堤防永久结构示意图（单位：mm）

如图 3（a）所示，双排桩基形式是上海市常见的堤防结构[3]，一般使用钢板桩作为前排的密排桩基，后排以钻孔桩做离散桩使用。该结构可以有效避免桩基的挤土效应，在周边有管线、建筑或者施工要求较高的场地使用。

如图 3（b）所示，单排外贴结构一般用于后方无法开挖，需要保留原挡墙，且前排为钢板的单排外贴结构，顶板上方的混凝土结构与原堤防结构连接在一起，形成新的结构。

2.2　钢板桩在上海堤防施工临时结构中的应用

（1）钢板桩围堰可根据结构类型选用单排、双排和格形钢板桩围堰[4]。

（2）钢板桩支护结构选型应综合考虑周边环境，可选择悬臂式、锚拉式、支撑式、复合式和围堰等支护结构[5]。

2.3　上海地质对静压钢板桩施工的适宜性

上海水利堤防的桩基长度基本分布在 5~20 m 之间[6]，在该范围内，上海软土在浅层大量分布着灰色淤泥质粉质黏土（② ~ ④层），其含水量高（40% ~ 60%）、孔隙比大（1.0 ~ 1.5）、剪切强度低，静压桩依靠液压压入，在此类土层中贯入阻力小、压桩效率高，无需预钻孔即可顺利施工。上海软土具有结构

性强、触变性显著的特点，振动锤施工极易引起土体扰动液化、周边建筑沉降。静压工法几乎无振动、无噪声，对软土结构扰动极小，与上海城市施工环境高度匹配；同时高地下水位使土体保持饱和状态，有助于钢板桩周侧摩阻力的形成，为静压机提供稳定的夹桩反力。对于如上海⑦层（暗绿色硬黏土）、⑨层（含砾中粗砂）这类特殊地段，若桩长较长需穿越此类土层，则需要配合水刀等工艺施工，可以达到良好的沉桩效果。

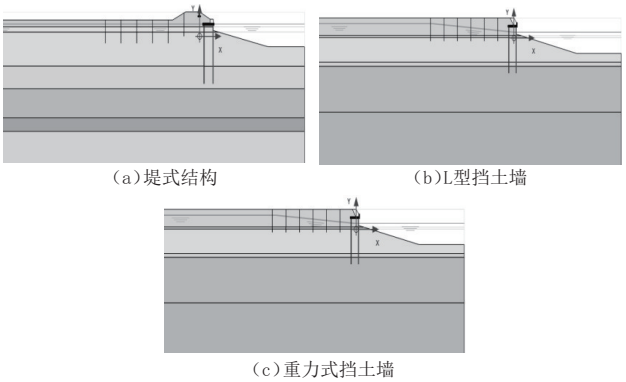
2.4　钢板桩静压施工影响有限元分析

为研究静压钢板桩施工对现有堤防结构的影响，本次研究采用国际上通用的岩土工程有限元分析软件 PLAXIS，选取 HS（Hardening-Soil）本构模型[7]。HS 本构模型是一项先进的模拟技术，能够精准再现从软土到硬土等多种土壤特性的动态变化。上海典型土层 HS 模型参数的取值见表 1。

表 1　上海典型土层 HS 模型参数的取值

土体名称		模型间的比例关系		
②	黏土	$E_{50}^{ref}=1.3E_{oed}^{ref}$	$E_{ur}^{ref}=5.7E_{oed}^{ref}$	$E_{oed}^{ref}=0.9E_{s1-2}$
③	淤泥质粉质黏土	$E_{50}^{ref}=1.3E_{oed}^{ref}$	$E_{ur}^{ref}=12E_{oed}^{ref}$	$E_{oed}^{ref}=0.9E_{s1-2}$
④	淤泥质黏土	$E_{50}^{ref}=1.1E_{oed}^{ref}$	$E_{ur}^{ref}=8.2E_{oed}^{ref}$	$E_{oed}^{ref}=0.9E_{s1-2}$
$⑤_3$	粉质黏土	$E_{50}^{ref}=0.9E_{oed}^{ref}$	$E_{ur}^{ref}=3.9E_{oed}^{ref}$	$E_{oed}^{ref}=E_{s1-2}$

为了分析防汛墙墙身结构型式的影响，本次研究根据不同墙身结构型式，建立了 3 种简化模型，如图 4 所示。



（a）堤式结构　（b）L型挡土墙　（c）重力式挡土墙

图 4　不同防汛墙墙身结构型式有限元模型

2.5　钢板桩桩长的变形分析

以目前市场上常见的 6、9、12、15 m 的 4 种桩长进行研究，研究钢板桩桩长对防汛墙临水侧墙前泥面处水平位移、防汛墙墙顶垂直位移的影响，结果见图 5、图 6。

由图 5 可知：施打位置距离防汛墙越近，打桩造成的防汛墙临水侧墙前泥面处水平位移的变形值变化越明显，呈现强相关性；反之，变形值变化则趋于平缓，呈现弱相关性。当打桩距离一定时，桩长越长，

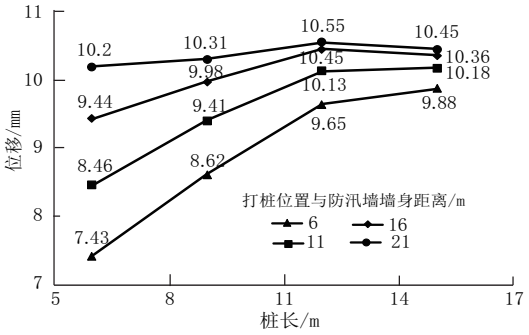


图 5　4 种桩长的水平变形分析

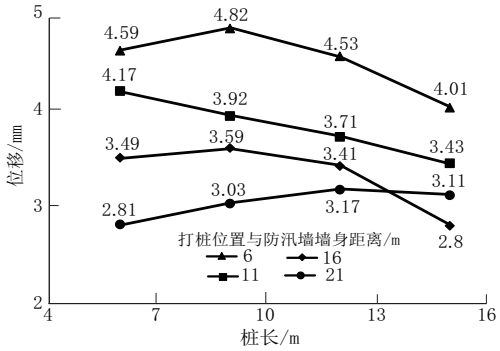


图 6　4 种桩长的垂直位移分析

打桩时防汛墙临水侧墙前泥面处水平位移的变形值越大。

由图 6 可知，在施打位置距离防汛墙一定距离的情况下，施打钢板桩形成的墙顶垂直位移与桩长的相关性较弱，同一距离情况下，6~15 m 不同桩长造成的墙顶垂直位移的变化幅度为 20%~30%，所以堤顶位置的垂直位移主要受施打位置与防汛墙之间的距离影响，打桩的桩长非主要影响因素。

3　施工空间限制条件下的施工

施工空间限制条件包括水上施工、斜坡上施工、狭窄空间内施工、邻近既有结构施工和低净空施工。在施工空间限制条件下，普通的施工工法难以实施，静压施工可以很好地进行植桩作业。

3.1　低净空工法的施工工序

低净空作业施工顺序示意见图 7。

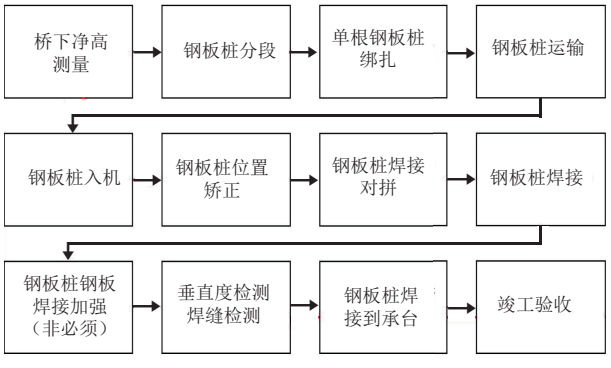


图 7　低净空作业施工顺序示意图

在压桩前先将钢板桩分割为多段短桩，压入时再进行垂直焊接。这种工法常用于桥下堤防打桩施工。施工初期在净空限制区域以外压入初期的几根桩，随后静压植桩机移动至净空限制区域内（桥下）进行压桩施工[2,8]。

3.2　钢板桩拼接工艺

钢板桩接桩加强示意见图 8。

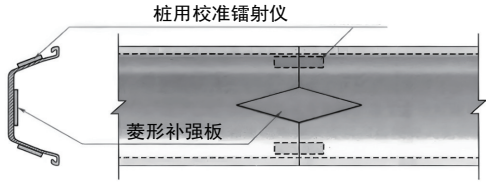


图 8　钢板桩接桩加强示意

钢板桩焊缝的施工质量等级为二级，角焊缝及其他焊缝均按三级质量标准[9]。焊缝按照二级焊缝探伤，探伤比例不低于 20%。钢板桩接头处采用 3 块加强板焊接加强，正面 1 块焊接于腹板，尺寸 300 mm×250 mm×14 mm，反面 2 块焊接于两侧翼板上，尺寸 140 mm×240 mm×14 mm；加强板所有焊缝均应周边满焊。

3.3　接桩质量检查

静压钢板桩打入土层的桩身完整性可以采用磁测井法检测[10]。

基于对磁性物质周边磁场变异的空间分布特性与变化规律的分析，具体操作方式如下：

在钢板桩外侧边缘不大于 0.5 m 的土体中钻孔，钻孔中心线平行于桩身中心线，钻孔垂直度偏差小于 1%，钻孔深度大于钢筋笼底设计深度 3~5 m。当地下水位较深时，在钻孔中注水，以使电极与孔壁较好耦合。依据深度-垂直分量（H-Z）曲线图以及深度-磁场垂直分量梯度（H-dZ/dh）曲线图共同判断钢板桩底部所在位置。选取 H-Z 曲线底部垂直分量值由低于背景场极小值转变为高于背景场的拐点（或 H-dZ/dh 曲线底部最深极值点）所对应的深度位置。

以上海某水利工程护岸挡墙底板钢板桩为例，现场采用 RSM-RLT（A）钢筋笼长度测试仪进行护岸挡墙底板钢板桩长度检测，现场采集磁场-深度曲线以及磁场梯度-深度曲线。由曲线分析而知，钢板桩实测长度为 14.04 m，符合设计要求 14.0 m，磁测桩法在钢板桩长度检测中具有高精度与可靠性。

4　质量控制

在钢板桩静压施工技术中，利用激光红外导引系统（见图 9），其中桩用校准镭射仪夹具能够调整特定的旋转角度，确保轴线偏差得以有效控制，通常偏差值可控制在±3 cm 之内。

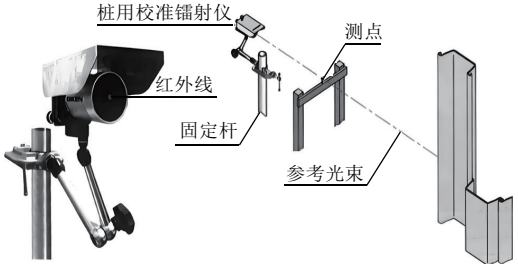


图 9　钢板桩施工静压机镭射线定位

5　环保措施

静压植桩机靠静压力植入钢板桩，没有强烈噪音和振动[11]，不影响附近的地下管线；工法作业采用降低发动机转速的环保方法，将动力单元发生的音量减低至 59.5 dB（测量位置距静压植桩机 1 m，动力单元 3 m，吊车 4.5 m），且主要来源为吊车、动力单元噪音，其中动力单元还采用了隔音装置[12]。

6　静压施工造价分析

当前上海地区尚未发布静压植桩相关定额，水利工程设计阶段采用静压植钢板桩工艺时，概算编制一般根据市场询价，在水利概算定额 H-5-4-7“柴油打桩机（1.8 t）打拉森钢板桩 桩长 8 ~ 12 m（单位 100 m）”定额单价基础上进行补差[13]。深圳地区整体定额消耗量水平与上海相对接近，故参照《深圳市土石方与地基基础工程消耗量标准》（2024）120003-78“静压植桩机 压钢板桩”定额消耗量及其中“静压植桩机 压钢板桩（单位 t）”机械台班定额进行测算。深圳 2024 年定额人工费编制基础为 2023 年 8 月人工价格水平，换算为上海综合工日为 0.331 1 工日/t。具此折算当前水利工程 2 种常见工艺：“静压植桩机 压 SP-IV 型拉森钢板桩 桩长 9 m”和“静压植桩机压 PU600×218.5×15.4 型拉森钢板桩 桩长 15 m”的消耗量，结果见表 2。

根据深圳“静压植桩机 压入力 F=1 000 kN”机械台班定额消耗量，参照上海市 2025 年 10 月水利信息价，台班价测算结果为 9 120.30 元/台班，详见表 3。

参照《上海市水利工程概算定额》（SH R1-21-2021）及表 2 消耗量换算及表 3 机械台班价格，按照 2025 年 10 月水利信息价及“水利堤防和农田水利工程概算”取费，测算得 2 种桩型采用柴油打桩机工艺

表2　上海静压植桩机 压钢板桩消耗量计算

项目		单位	SP-Ⅳ型拉森钢板桩 桩长9 m	PU600×218.5×15.4型拉森钢板桩 桩长15 m
			100 m	100 m
人工	综合工	工日	56.692 6	81.845
机械	静压植桩机压入力 F=1 000 kN	台班	15.239 0	22.005 3
	汽车起重机起重量 G_n=20 t	台班	14.554 1	21.016 3

表3　静压植桩机 压入力 F=1 000 kN 台班单价计算

项目	消耗量	单价/元	合价/元
技术人工费/工日	2	235.5	471.00
柴油/kg	149.6	6.92	1 035.23
检修费/元	744.19	1	744.19
机械价值/元	7 800 000		
总折旧率/%	95		
年工作总台班/台班	215		
折旧总台班/台班	2 150		
折旧年限/年	10		
台班折旧费/元	3 446.51	1	3 446.51
维护费/元	2 731.18	1	2 731.18
机械管理费/元	692.19	1	692.19
合计			9 120.30

及静压植桩工艺时的单价对比[13-14]，如表4所示。

表4　柴油打桩及静压植桩单价对比

序号	名称	是否含主材	工程量/t	单价/元
1	柴油打桩机打桩 SP-Ⅳ型9 m拉森钢板桩	不含主材	1	820.67
2	静压植桩机打桩SP-Ⅳ型9 m拉森钢板桩	不含主材	1	1 197.7
3	柴油打桩机打桩 PU600×218.5×15.4×15 m拉森钢板桩	不含主材	1	567.73
4	静压植桩机打桩 PU600×218.5×15.4×15 m拉森钢板桩	不含主材	1	1 196.43
5	柴油打桩机打桩 SP-Ⅳ型9 m拉森钢板桩	含主材（不含外防腐）	1	7 775.52
6	静压植桩机打桩SP-Ⅳ型9 m拉森钢板桩	含主材（不含外防腐）	1	8 152.55
7	柴油打桩机打桩 PU600×218.5×15.4×15 m拉森钢板桩	含主材（不含外防腐）	1	7 522.58
8	静压植桩机打桩 PU600×218.5×15.4×15 m拉森钢板桩	含主材（不含外防腐）	1	8 151.28

由表4可见，采用静压植钢板桩相对柴油打桩机打钢板桩，每吨单价高出377.03~628.70元。当作为永久基础桩使用时，采用静压植桩相对柴油打桩的价差占打桩费用的4.85%~8.36%。综合其环境和社会效益，采用静压植桩是一种性价比较高的施工工艺。

7　结　语

（1）静压工艺对临近构筑的影响较小，其垂直和水平位移主要与桩长有关；上海软基土层对静压适宜性较好。同时对受限空间下静压施工流程进行了规范和明确，对钢板桩接桩的工法进行了节点细化，施工采用机镭射线定位、磁测井法检测可以有效控制施工质量，实现高效作业；结合定额分析，为类似工程的造价提供了参考。

（2）目前静压钢板桩在上海堤防中的应用和定额还缺少正式文件，现有的设计和施工基本参考建筑和市政工程。本文仅结合现有的案例，其适宜性需要更多案例的验证。

（3）静压钢板桩的施工工艺在城区复杂岸段堤防施工中有着明显的施工优势。该工艺在很大程度上实现了绿色、环保、高效、文明的施工目的，为上海市堤防工程的施工管理提供了有力的技术支撑 。

参考文献：

[1] 王政. 国内热轧钢板桩市场开发与研究[J]. 中国市场，2019(12)：133-134.

[2] 黄文兵. 静压植桩机在城区复杂河道岸段紧邻建筑物护岸钢板桩桩基施工技术[J]. 城市建设理论研究，2020(16)：52-53.

[3] 兰士刚，董学刚，石永超，等. 苏州河四期堤防达标改造工程的创新技术应用分析[J]. 城市道桥与防洪，2020(12)：116-117；140.

[4] 杨奎，罗志安. 双排钢板桩围堰在堤防工程施工导流中的设计与应用[J]. 人民珠江，2023，44(增刊2)：183-187.

[5] 田爱平，张郁琢，母冬青. 上海堤防工程钢板桩围堰标准研究与应用探析[J]. 城市道桥与防洪，2021(4)：94-97.

[6] 上海桩基型式的选用依据——同济大学2004年第三期岩土工程论坛[J]. 岩土工程界，2004(6)：11.

[7] 钱程. 上海轨道交通14号线穿越黄浦江段防汛墙的耐久性加固研究[J]. 城市道桥与防洪，2024(8)：143-146.

[8] 张羽，薛鹏飞. 对拉型钢板桩围堰静压法施工[J]. 门窗，2019(20)：116.

[9] 谭启明. 中厚钢板桩围堰焊接工艺及性能试验[J]. 焊接技术，2026，55(2)：59-63.

[10] 马驰. 基于低应变法和磁测井法的管桩桩长检测研究[J]. 西部探矿工程，2025，37(12)：1-5.

[11] 李宇航，高振宇，杨雪强，等. 静压钢板桩贯入阻力试验与数值仿真[J]. 广东工业大学学报，2022，39(1)：129-134.

[12] 金小荣，吴国彬，郭永，等. 新型环保型桩基施工设备——静压植桩机[J]. 地基处理，2019，1(3)：84-86.

[13] 张凌燕. 钢板桩静压植桩工法施工定额研究[D]. 南宁：广西大学，2020.

[14] 魏传利，毕磊. 桩基础工程[J]. 工程造价管理，2017(2)：18-20.