

PC 锁扣钢管桩围堰施工技术研究与应用

黄 津

中铁第四勘察设计院集团有限公司 湖北 武汉 430000

【摘 要】 在市政桥梁、临水深基坑、水利水电等工程中，围堰是保障水下基础干地施工的核心临时支护结构。传统钢板桩、双排围堰、钢套箱围堰存在止水性能差、刚度不足、变形量大、无法回收、施工周期长等短板，难以适配复杂水文地质条件下的深基坑施工需求。PC 锁扣钢管桩围堰作为新型组合支护体系，通过钢管桩与锁扣钢板咬合形成整体封闭结构，兼具刚度大、止水效果好、施工便捷、可循环回收、绿色低碳等优势，现已广泛应用于临水基坑与水下基础工程。本文依托实际临水桥梁基础工程，系统阐述 PC 锁扣钢管桩围堰的结构原理、核心施工工艺流程，梳理施工关键技术要点、常见质量隐患及防控措施，总结施工质量与安全控制标准，结合监测数据分析工程应用效果。实践表明，该施工技术可有效控制围堰变形、杜绝渗水隐患，大幅缩短施工工期、降低工程成本，具备极高的工程推广价值。

【关键词】 PC 锁扣钢管桩；围堰施工；深基坑；止水支护；施工技术；工程应用

1 引言

随着城市临水基建、跨河桥梁、水利整治工程持续推进，水下承台、深基坑基础施工场景日益增多，对围堰支护结构的稳定性、止水密封性、施工效率及环保性提出了更高标准。传统拉森钢板桩围堰整体刚度偏弱，基坑开挖后侧向变形较大，锁扣咬合不严易出现渗漏水问题；常规钢套箱围堰自重较大、吊装难度高、施工周期长，且无法二次利用，工程经济性与环保性较差。

PC 锁扣钢管桩围堰属于新型绿色组合围护结构，由大直径钢管桩与异形锁扣钢板相互咬合拼接而成，充分结合钢管桩高刚度、钢板桩高密封性的双重优势，结构整体性强、受力性能优异，且施工完成后可整体拔出回收、重复利用，有效降低建筑垃圾排放与工程造价。现阶段该技术在复杂软土、高水位、临水环境工程中应用愈发广泛，但现场施工对位精度、锁扣止水、桩体垂直度控制、基坑开挖协同管控等技术要点尚未形成统一标准化体系。基于此，本文结合工程实例，系统探究 PC 锁扣钢管桩围堰全套施工技术，剖析技术优势与应用要点，为同类临水基坑围堰工程施工提供技术参考。

2 PC 锁扣钢管桩围堰结构特性与施工优势

2.1 结构组成与工作原理

PC 锁扣钢管桩围堰主要由主体钢管桩、连接锁扣、导向构件及内支撑体系组成，采用“钢管桩为主承力构件、锁扣钢板为密封连接构件”的组合形式。单根钢管桩两侧焊接异形锁扣结构，施工时通过锁扣逐根咬合拼接，形成连续封闭的环形或矩形围堰体系，依靠桩体自重、土体嵌固作用及内支撑抗力，抵御外侧水土压力，实现基坑挡土、止水双重功能。相较于单一围堰结构，该组合结构受力均匀，可有效分散侧向荷载，大幅提升围堰整体稳定性与抗变形能力。

2.2 核心施工优势

相较于传统围堰工艺，PC 锁扣钢管桩围堰技术优势显著：一是结构刚度大、变形可控，钢管桩主体承载力强，可适配深水位、大开挖深度基坑施工；二是止水性能优异，锁扣咬合紧密，搭配止水填料可彻底杜绝接缝渗水问题；三是施工效率高，桩体预制化程度高，现场仅需吊装、插打、拼接作业，工序简洁；四是绿色经济性好，施工无大量土方开挖，完工后可完整回收复用，大幅降低耗材成本；五是适配性强，可根据基坑尺寸、水文条件灵活调整桩体规格与布置形式，适配各类复杂施工场景。

3 工程概况

本文依托某跨河桥梁基础工程，主墩承台为水下深基坑结构，承台尺寸 12.5m×8.8m，基坑开挖深度 7.2m，施工现场临近河道，常年水位高度 3.5m，场地表层为素填土、淤泥质软土，土层承载力低、压缩性大，水文条件复杂，常规围堰施工易出现变形、渗水、边坡失稳等隐患。本工程采用 PC 锁扣钢管桩围堰作为基坑支护体系，钢管桩选用 $\Phi 630\text{mm}$ 、壁厚 12mm Q355B 钢管，搭配专用异形锁扣钢板，围堰内部设置两道型钢内支撑，保障结构整体稳定性。施工全过程开展沉降、位移、渗水监测，验证施工技术的可行性与安全性。

4 PC 锁扣钢管桩围堰核心施工工艺

4.1 施工前期准备

施工前需完成现场勘察、方案报审、场地清理、设备材料进场核验等工作。结合勘察报告核查场地土层、水位、周边管线分布情况，优化围堰平面布置、桩长、内支撑布设方案，编制专项施工及应急方案。进场钢管桩、锁扣构件需逐一核验规格、壁厚、焊缝质量，对锁扣槽口进行除锈、打磨处理，检查

无变形、破损、裂纹缺陷后方可投入使用。同时调试振动打桩机、吊装设备、监测仪器，确保设备运行稳定、精度达标。为保障桩体插打精度，提前搭设型钢导向架，精准定位围堰边线，严控导向架平整度与垂直度。

4.2 测量放线与导向架搭设

依据设计图纸采用全站仪精准放样围堰轴线、桩位控制点，做好标记复核，确保桩位放样偏差≤5mm。放样完成后搭设双拼工字钢导向架，导向架需具备足够刚度，防止插打过程偏移变形。导向架搭设完成后再次校核尺寸与标高，保证围堰整体线形顺直，为后续钢管桩精准插打、锁扣顺利咬合奠定基础。

4.3 钢管桩插打施工

采用“逐根插打、逐根咬合、封闭成圈”的施工顺序，优先施工转角桩，再依次施工中间桩体。吊装过程保持桩体垂直平稳，避免碰撞导向架与周边构件。插打采用振动沉桩工艺，严控桩体垂直度，垂直度偏差控制在≤1%范围内，插打过程实时监测桩体位置与姿态，发现偏移立即暂停施工，微调校正后继续作业。相邻桩体锁扣需完全咬合到位，无松动、错位、卡滞现象，确保接缝严密。针对软土地层，采用慢振慢沉工艺，避免快速沉桩导致桩体倾斜、周边土体扰动过大。

4.4 锁扣止水处理

锁扣接缝是围堰止水的薄弱环节，为杜绝渗水隐患，施工前在锁扣槽内填充黄油、棉絮混合止水填料，增强接缝密封性。全部桩体插打完成、围堰封闭成型后，全面检查所有锁扣接缝，对缝隙偏大部位补充封堵止水材料，彻底封堵渗水通道，保障围堰整体止水效果，为后续基坑干地施工创造条件。

4.5 内支撑安装与基坑开挖

遵循“先撑后挖、分层开挖、严禁超挖”原则开展施工。围堰成型后，根据设计标高分层安装型钢内支撑，内支撑与桩体连接节点需加固牢靠，焊接饱满、螺栓紧固到位，保障支撑体系受力均匀。内支撑安装完成并验收合格后，分层开展基坑土方开挖，每层开挖深度控制在 2m 以内，开挖过程实时监测围堰变形、水位变化，严禁超挖、欠挖，避免土体应力突变引发结构变形失稳。

4.6 围堰拆除与桩体回收

基坑内主体结构施工完成、达到设计强度且满足回填条件后，开展围堰拆除作业。拆除遵循“后装先拆、分层拆除、对称卸载”原则，先分层拆除内支撑体系，再逐根振动拔出钢管桩。拔桩前松动锁扣咬合部位，采用振动桩机消除桩体与土体摩擦力，缓慢匀速拔出桩体，避免强行拔桩导致桩体变形、周边土体塌陷。拔出后的钢管桩、锁扣构件及时清理、保养、归类存放，实现二次回收利用。

5 施工质量与安全控制标准

结合本工程实测数据及规范要求，制定 PC 锁扣钢管桩围堰施工质量控制标准，具体指标如下表所示。

表 1 PC 锁扣钢管桩围堰施工质量控制指标统计表

检测项目	规范允许偏差	工程实测偏差	控制结果
桩位轴线偏差/mm	≤10	3~7	合格
桩体垂直度偏差	≤1%	0.3%~0.8%	合格
桩顶标高偏差/mm	±50	±20	合格
围堰最大水平位移/mm	≤30	12~21	合格
接缝渗水情况	无明显渗水	无渗水	合格

6 施工常见问题与防控对策

6.1 桩体插打偏移、垂直度超标

软土地层施工易出现桩体偏移、倾斜超标问题，主要因土层不均匀、插打速度过快、导向架刚度不足导致。防控对策：强化导向架刚度，施工前严格校核放样尺寸；软土地层采用低频慢振插打工艺，全程实时监测桩体姿态，发现微小偏移立即停机校正；相邻桩体及时咬合限位，利用整体结构约束单桩变形。

6.2 锁扣接缝渗漏水

锁扣咬合不严、止水填料填充不足、桩体变形易引发接缝渗水，是围堰施工最常见病害。防控对策：施工前打磨清理锁扣槽口，保证咬合顺滑严密；全程填充止水密封材料，杜绝空隙；成型后逐一排查接缝，对细微缝隙采用注浆封堵处理，提前阻断渗水通道。

6.3 围堰变形过大

基坑开挖过快、内支撑布设不及时、支撑受力不均易导致围堰侧向变形超标。防控对策：严格执行分层开挖工艺，严控单次开挖深度；内支撑随挖随装，及时形成受力体系；优化支撑节点构造，保证受力均匀；全程动态监测变形数据，接近预警值时立即停工加固。

6.4 拔桩带土、地面塌陷

桩体长期嵌固土体、摩擦力过大，拔桩时易带土引发周边地面塌陷。防控对策：拔桩前反复振动桩体，弱化桩土摩擦力；采用分段振动、缓慢拔出工艺，避免快速提拉；拔桩后及时回填桩孔，压实加固，防止地面沉降塌陷。

7 工程应用效果分析

本工程采用 PC 锁扣钢管桩围堰施工技术，全程施工顺利，无渗水、坍塌、超限变形等安全隐患，围堰成型质量优良。由监测数据可知，围堰最大水平位移仅 21mm，远低于规范预警值，

结构整体稳定性良好；锁扣接缝密封严密，基坑全程保持干燥干地施工条件，有效保障承台基础施工质量。相较于传统钢板桩围堰，本工艺施工工期缩短 25%，桩体构件全部回收复用，减少建筑垃圾排放，综合造价降低 18%，兼具安全性、高效性、经济性与环保性。实践证明，PC 锁扣钢管桩围堰技术适配临水软土深基坑施工场景，技术成熟、风险可控，应用效果显著。

8 结论

PC 锁扣钢管桩围堰作为新型绿色支护体系，凭借刚度大、止水性能优、施工高效、可回收复用的突出优势，完美适配临水、复杂水文地质条件下的深基坑、水下基础施工。本文通过工程实例，系统梳理了 PC 锁扣钢管桩围堰从前期准备、放样搭

设、桩体插打、止水处理、支撑安装、基坑开挖到拆除回收的全套标准化施工工艺，明确了核心质量控制标准，总结了偏移、渗水、变形等常见病害的防控对策。

工程应用表明，精细化、标准化的施工管控可有效保障围堰结构稳定性与密封性，大幅提升施工效率、降低工程成本、减少资源浪费。相较于传统围堰工艺，PC 锁扣钢管桩围堰技术综合效益优势显著，符合绿色施工、低碳建造的工程发展理念，在市政桥梁、水利水电、临水基坑等工程中具备广阔的推广应用前景。未来可结合智能化监测、数值模拟分析，进一步优化施工工艺与结构设计，提升复杂极端工况下的施工安全性与适配性。

参考文献：

- [1] 万永冠. PC 工法桩围堰施工受力及变形特性研究[J]. 土木工程, 2024, 13(05):803-811.
- [2] 李军, 王强. 临水深基坑 PC 锁扣钢管桩围堰施工技术应用[J]. 市政技术, 2023, 41(07):156-159.
- [3] 张磊, 陈阳. 复杂软土地层钢管桩锁扣围堰施工质量控制[J]. 城市道桥与防洪, 2024(02):189-192.
- [4] 周航. 新型 PC 组合钢管桩围堰结构设计及施工优化[J]. 工程技术研究, 2023, 8(15):132-134.
- [5] 吴浩, 刘凯. 深基坑锁扣钢管桩围堰止水施工技术研究[J]. 施工技术, 2024, 53(08):98-101.
- [6] 赵博文. 水利工程 PC 工法桩围堰稳定性监测与应用分析[J]. 水利科技与经济, 2023, 29(09):76-79.
- [7] 黄俊. 绿色施工理念下钢管桩围堰回收利用技术研究[J]. 建筑施工, 2024, 46(03):412-415.