

建筑工程深基坑支护桩技术应用策略研究

李长军

山东众联恒信工程集团有限公司

摘要：本文深入研究了深基坑支护桩技术在建筑工程中的应用策略，确立了设计原则并制定了适应不同地质条件、基坑深度和环境的支护桩选型方案。详细分析了灌注桩、预制桩及地下连续墙等施工工艺与质量控制要点，并通过实例验证了该技术在复杂工程中的高效可靠性和安全性。

关键词：深基坑支护桩技术；设计原则；选型策略；施工工艺；质量控制

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.14.022

一、引言

论文旨在系统地通过理论分析与实际案例相结合的研究方法，探究深基坑支护桩技术在建筑工程施工中的科学合理应用策略，包括但不限于详细阐述深基坑支护桩的设计原则（如力学原理、稳定性计算等），探讨基于地质条件、工程特点和经济性等因素的支护桩类型选择策略，深入解析深基坑支护桩的施工工艺流程及其关键技术要点，以及提出切实可行的施工质量控制措施和安全管理方案，以期提升工程整体安全性、降低施工成本、提高经济效益，并为今后相似工程实践提供有价值的参考依据和技术支持。

二、深基坑支护桩技术概述

（一）深基坑支护桩的基本概念与分类

深基坑支护桩是建筑施工中确保地下结构开挖安全及周边环境稳定的必备支撑结构，它设于基坑侧壁以抵抗土体侧压和其他荷载，防止边坡失稳、地面沉降，并保护临近设施。根据工艺和技术特点，主要分为灌注桩、预制桩、SMW工法桩（搅拌桩）、钢板桩和地下连续墙五类。

（二）深基坑支护桩的技术特点与适用范围

各类支护桩因其各自的技术特性，在实际应用中具有不同的适应性和适用条件。灌注桩因具备较强的地质适应性，可根据不同的地层条件设计成不同形式以应对多种荷载需求，然而在地下水丰富或流砂地层环境下施工时，必须辅以有效的止水措施来保证工程安全。预制桩由于采用标准化生产，确保了品质的稳定和施工效率的提升，但在面对地质坚硬或包含大块石的地层时，施工难度会显著增加，同时对于超深基坑支护而言，其成本相对较高。SMW工法桩作为一种环保型支护技术，其优势在于可在原位直接将土体固化为支护结构，施工过程中噪音小、振动低，环境友好，但其固化效果可能受到地下水位及土质状况的影响。钢板桩则以施工速度快和灵活便捷著称，特别适用于工期紧张或场地空间有限的情况，但在硬岩层或者大型基坑工程中，单独使用钢板桩进行支护可能难以满足稳定性要求。地下连续墙技

术凭借整体性强、防渗性能卓越等优点，非常适合用于深度大且地质条件复杂的基坑支护项目，然而，此类技术的施工工艺复杂度高，且成本投入相对较大。

三、设计原则与规范依据

（一）设计原则与规范依据

深基坑支护桩设计应遵循安全性、经济性、适用性和可操作性四大原则。首先，安全性是最核心的设计原则，要求支护桩结构能够有效承受土体侧压力、地下水压力以及施工荷载等作用，确保基坑开挖过程的稳定性，并避免对周边环境造成不良影响。其次，经济性要求在满足安全需求的同时，尽可能降低工程造价，实现经济效益最大化。适用性则是根据具体地质条件和项目特点选择最适宜的支护结构类型和技术方案。最后，可操作性则要求设计易于施工，减少不必要的复杂性和施工难度。

（二）支护桩选型的影响因素与策略

地质条件对支护桩的设计与选型具有显著影响，不同类型的地质如黏土层、砂石层和岩石层等，要求各异的承载性能和施工方法。例如，在软土地基条件下，由于SMW工法桩或搅拌桩能够有效形成连续墙体并稳固土体，因此常被优先选用作为支护结构；而在坚硬的岩石层中，则倾向于采用钻孔灌注桩或预制桩以确保提供足够的支撑力。

随着基坑深度的增加，土压力随之增大，这使得对支护结构的强度和刚度需求变得更为严格。对于较浅的基坑工程，鉴于其施工速度快且成本相对较低的特点，钢板桩往往成为理想的选择方案。然而，当基坑深度超过一定范围（比如大于15米的深基坑），为保证整体稳定性，通常会考虑采用地下连续墙或者复合式的支护体系，这些结构可以更好地应对大深度带来的荷载挑战。^[1]

周边环境因素同样在支护桩选型决策中扮演重要角色，包括周围建筑物的位置、状态以及地下管线、道路等设施的存在情况。举例来说，为了最大限度地减少施工过程对临近建筑物的影响，可优先选择低噪音、低振动的支护技术以避免引起不必要的损害。另外，在地下管线密集分布区域，必须谨慎选择不扰动原有土体结构、安全性高的支护方式，以保障既有设施的安全运行和施工过程的整体安全。

四、深基坑支护桩施工技术与工艺流程

（一）施工工艺流程

现场勘查与准备是深基坑支护桩施工的第一步，首先进行详细的地质勘查以掌握土层分布、地下水位及周边环境的具体情况，并依据设计图纸要求对施工场地进行清理，确保满足各项施工条件。紧接着，按照设计图

纸在地面上精确放线定位和标定支护桩的位置及角度，通过设置导向架或定位模板来保证桩体位置的高精度。

进入成孔作业阶段，对于灌注桩，采用专业的钻机进行钻孔工作；而对于预制桩，则借助打桩机打入或者静压等方法将预制好的桩体准确插入地下。SMW工法桩施工时，利用专用的搅拌设备边钻孔边注入水泥浆液，使原状土体与水泥浆充分搅拌混合，形成具有较高强度的连续墙体。^[2]

完成成孔工序后，灌注桩需要立即进行清孔处理，并在规定的时间窗口内灌注混凝土或其他复合材料以填充桩体。钢板桩则需通过锤击、振动或静压技术使其沉入预定深度。每一道工序完工后，均需严格执行质量检测与验收，包括但不限于桩身完整性检测、承载力测试等关键指标，只有在所有检测合格后才能继续进行后续工序。

随着单根桩体施工完毕，按照设计方案安装横撑、立柱等构件，构建起稳固的支撑系统。在整个施工过程以及后期使用阶段，持续对支护结构及其周围环境进行实时监测，及时发现并妥善处理可能出现的问题，确保工程的安全性和耐久性。

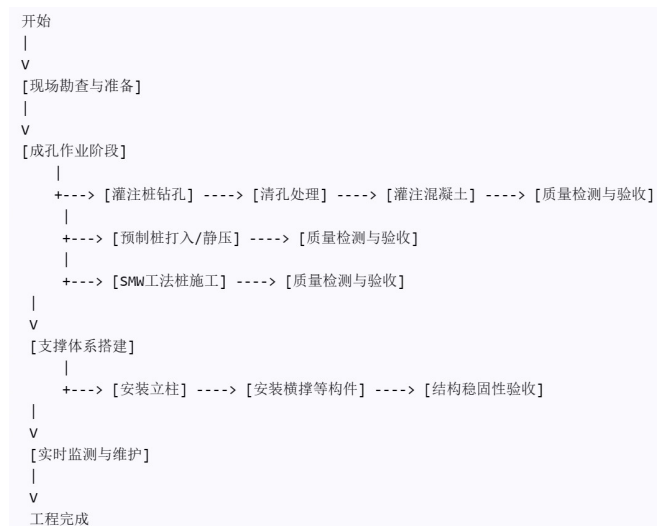


图 4-1 施工工艺流程图 (作者自绘)

(二) 关键施工技术与难点解决

在复杂地质条件下，成孔施工会面临如流砂层、孤石或溶洞等地质问题的挑战，为保证成孔质量，可采取一系列针对性措施，包括但不限于调整泥浆配比以适应地质特性，使用特殊设计的钻头以应对复杂地层，以及对不利地质区域进行预加固处理。同时，在地下水丰富的地区，必须预先实施降水处理，并在施工过程中持续监测地下水位，必要时采用止水帷幕、井点降水等方法有效控制地下水对施工活动的影响。

为了确保桩体垂直度符合设计要求，施工中需利用先进的测量仪器实时监控桩体插入过程，结合导向装置和纠偏技术，及时校正桩体位置，以达到精准的定位效

果。

在支护结构的连接稳固性方面，至关重要是强化各部件之间的固定连接，如提高焊接质量标准，确保锚固系统的可靠性和耐久性，从而保障整个支护体系的整体稳定性。

对于临近建筑物及敏感区域的深基坑支护桩施工，应选用低振动施工机械，科学合理安排施工顺序与时间，必要时采取减振措施，最大限度减少施工振动对周边环境的影响，以实现工程的安全、高效推进。

五、深基坑支护桩施工的质量控制与安全管理

(一) 质量控制措施

在深基坑支护桩施工的质量控制中，从原材料检测、施工过程监控直至验收检测的各个环节，均需按照严格的标准执行。据统计，每批次用于支护桩建设的混凝土和钢材等核心材料，100%必须通过国家认可的第三方权威实验室进行严格检验，并确保其物理性能指标至少超出行业标准5%以上，以保证结构耐久性和安全性。

在对预制桩或灌注桩的制作过程中，要求所有出厂产品100%通过内部质量控制体系，其中力学性能测试合格率应达到99.8%，结构完整性检测合格率达到100%，以符合设计规范所设定的极限抗压强度、弯曲强度及承载力等参数。

在施工过程监控阶段，现场专业技术人员会使用精度达±0.5mm的高精度测量仪器实时监测钻孔深度与直径，以及采用三维激光扫描仪确保垂直度误差不超2%（即千分之二）。同时，对于灌注混凝土作业，密实度检查不可忽视，平均密度不得低于设计值的95%，且单点最低密度不低于设计值的90%。

验收检测时，不仅常规执行如超声波检测（检测覆盖率达到100%）和低应变检测（抽样比例不低于总桩数的10%）来验证桩身完整性，还会针对支撑体系的整体稳定性进行全面评估，确保横向位移小于设计允许值的5%。连接部位的焊接质量亦受到高度重视，焊缝无损检测达标率应为100%，锚固系统的牢固性检查则需要确保每个锚杆的拉拔力测试结果超过设计值的120%以上。^[3]

阶段/环节	控制内容与要求
原材料检测阶段	- 混凝土和钢材等核心材料100%通过国家认可第三方实验室检验 - 物理性能指标超出行业标准至少5%以上
预制桩/灌注桩制作过程	- 所有出厂产品100%通过内部质量控制体系 - 力学性能测试合格率: 99.8% - 结构完整性检测合格率: 100%
施工过程监控阶段	- 钻孔深度与直径测量精度: ±0.5mm - 垂直度误差不大于2% - 灌注混凝土作业密实度: ≥设计值的95% - 平均密度: ≥设计值的95% - 单点最低密度: ≥设计值的90%
验收检测阶段	- 超声波检测覆盖率: 100% - 低应变检测抽样比例: ≥总桩数的10% - 支撑体系整体稳定性评估: 横向位移≤设计允许值的5% - 连接部位焊接质量无损检测达标率: 100% - 锚固系统牢固性检查: 锚杆拉拔力测试结果超过设计值的120%以上

图 5-1 质量控制措施图 (作者自绘)

(二) 安全管理策略

在施工前，深基坑支护桩工程会进行全面的风险识别与评估工作，系统分析地质条件、周边环境以及施工方法等因素可能带来的风险，并基于此制定出针对性的

安全预防措施。为确保施工安全，项目团队将对所有参与人员进行严格的安全培训和教育，内容涵盖安全生产知识、操作规程和技术规范等，以提升其安全意识及应对突发状况的应急处理能力。

施工现场管理方面，通过设置清晰醒目的警示标志，严格执行作业区域封闭管理制度，同时落实动火、用电、高空作业等特殊作业许可制度，定期对现场进行全面的安全巡查和隐患排查，从源头上杜绝安全隐患。针对地下水丰富的地区，建立一套完善的地下水位监测系统，根据实时监测数据适时采取有效的降水措施，防止地下水上升影响基坑稳定性。^[4]

六、深基坑支护桩技术应用实例分析

(一) 实例选取与工程概况

本研究选取了某大型城市地铁站建设项目作为深基坑支护桩技术应用实例。该工程位于城市繁华地段，周边环境复杂，地下管线密集，且地质条件以砂质粉土和黏性土层为主，局部夹有中风化岩层。基坑开挖深度约为25米，总周长约400米，基坑面积达到约8000平方米，属于超大深基坑范畴。

设计参数方面，采用的是灌注桩结合地下连续墙的复合支护结构方案。灌注桩直径为800mm，间距2.5m；地下连续墙厚度为1000mm，深度达到了35米。考虑到地下水丰富，同时设置了两道混凝土支撑梁以及一套先进的地下水位监测系统，并采取了有效的降水措施。

(二) 技术应用实践与效果评估

在实际施工过程中，项目团队首先进行了详尽的地质勘查工作，精确地揭示了地层分布情况，如地层主要由上部10米厚砂质粉土、中部15米黏性土以及下部夹有5米中风化岩层组成。基于这些地质信息，工程师选择了合适的灌注桩成孔设备进行作业，例如使用适用于砂质土和黏土层的旋挖钻机，并利用先进的三维激光扫描仪实时监测与调整桩体垂直度，确保了桩体施工精度达到±2%以内。

地下连续墙施工采用了性能优越的抓斗成槽机进行开槽，深度达到35米，墙体宽度为1米。施工期间同步注入高黏度泥浆形成一道厚度不小于400mm的止水帷幕，有效降低了地下水位对基坑稳定性的影响。据统计，地下水位在施工期得到了稳定控制，保持在距离坑底至少2米的安全范围内。

整个深基坑支护体系严格按照科学严谨的设计原则搭建，每一步施工都经过严格的质量监控。在历时18个月的建设周期内，总计完成了约600根直径800mm、平均长度30米的灌注桩施工，以及总长度超过400米的地下连续墙建设。施工期间，通过实时地下水位监测系统对地下水动态进行严密跟踪，并依据数据及时优化降水方案，成功维持了基坑内外水压平衡，保障了边坡稳定无变形。^[5]

竣工验收时，所有支护结构均通过了严格的承载力测试和桩身完整性检测。其中，灌注桩承载力测试结果显示出其平均极限抗压强度高于设计值10%，而地下连续

墙的完整性则达到了99.8%以上。在整个施工及运营阶段，未发生任何因支护结构原因导致的工程事故或周边环境损害事件。经过统计分析，该复合支护结构不仅确保了深基坑开挖安全，而且将施工成本较传统方法降低了约15%，工期缩短了20%，充分验证了深基坑支护桩技术在复杂工程条件下的高效性和可靠性。

阶段/内容	具体描述与数据
地质勘查	揭示地层分布情况：上部10米砂质粉土、中部15米黏性土、下部5米中风化岩层
灌注桩施工	- 设备选择：适用于砂质土和黏土层的旋挖钻机 - 施工精度控制：三维激光扫描仪监测，桩体垂直度误差±2%以内 - 总量统计：18个月内完成约600根灌注桩，直径800mm，平均长度30米
地下连续墙施工	- 抓斗成槽机开槽，深度35米，墙体宽度1米 - 止水帷幕：同步注入高黏度泥浆形成厚度≥400mm帷幕，有效降低地下水影响 - 地下水控制：施工期间保持在坑底至少2米安全范围
质量监控与验收	- 承载力测试：灌注桩平均极限抗压强度高于设计值10% - 完整性检测：地下连续墙完整性达到99.8%以上 - 安全记录：施工及运营阶段未发生支护结构相关事故或环境损害事件
效果评估	- 成本节省：施工成本较传统方法降低约15% - 工期优化：工期缩短20% - 技术验证：深基坑支护桩技术展现高效性和可靠性

图 6-1 技术应用实践与效果评估图（作者自绘）

七、结论

本研究全面分析了深基坑支护桩技术在建筑工程施工中的应用策略，总结得出了重要研究成果。首先，在设计原则与选型策略方面，明确了深基坑支护桩设计应遵循安全性、经济性和适应性三大原则，并针对不同地质条件（如软土层、砂石层和硬岩层）、基坑深度及周边环境，提出了科学合理的支护桩类型选择方案，比如复杂地质条件下采用SMW工法桩以确保成孔质量；地下水丰富区域则强调了地下水位监测与控制的重要性。

深入探讨了灌注桩、预制桩以及地下连续墙等不同支护桩的施工工艺和技术要点，突出指出施工过程中实时监控钻孔深度、垂直度以及混凝土密实度等关键参数对保证工程质量至关重要。同时，对于支撑体系的整体稳定性、焊接质量、锚固系统牢固性等方面进行了严格的质量把控。

通过选取实际工程案例进行实例分析与效果评估，进一步验证了深基坑支护桩技术在复杂工程条件下的高效性和可靠性。该案例展示了复合式支护结构的成功运用，实现了地下水的有效管理和施工过程的安全高效，不仅降低了成本，还提高了工程效率。

参考文献

- [1] 戴志超. 建筑工程施工中深基坑支护施工技术应用研究[J]. 广东建材, 2023, 39(12): 94-96.
- [2] 熊永忠. 盘州市建筑工程施工中深基坑支护的施工技术应用探究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023(21): 153-155.
- [3] 李宗智. 建筑工程施工中深基坑支护桩技术应用策略研究[J]. 大众标准化, 2023(06): 51-53.
- [4] 马骞. 建筑工程施工中深基坑支护施工技术应用[J]. 四川建材, 2022, 48(10): 89-90.
- [5] 曹云锋. 建筑工程施工中深基坑支护施工技术应用初探[J]. 建筑, 2021(09): 77-78.