

# 基坑预制倾斜支护桩施工与研究

付 冬

中交第二航务工程勘察设计院有限公司 湖北 武汉 430060

**摘要：**采用预制斜桩代替传统基坑支护形式中的水平支撑的新型支护类型，即为预制倾斜支护桩。该工法相比传统基坑支护型式在支护材料、施工机械、施工方法上均有所不同，采用倾斜支护桩代替传统水平支撑，能够消除传统水平支撑拆撑、换撑对地下室体结构施工的影响，达到节省地下施工工期的目的，进而提升施工效益。

**关键词：**基坑支护；预制倾斜支护桩；施工

## 引言

随着城市化浪潮的迅猛推进，地下空间的探索与利用已成为现代城市发展的重要一环。基坑工程的安全稳定，对于城市建设的顺利推进至关重要。传统水平内支撑多采用钢筋砼或型钢（钢管），应用范围广，安全性高，适用性强，但同时会占用了大量坑内空间，施工周期长，不利于挖土作业，后期拆除时因应力释放和悬壁的出现也会出现一定的安全隐患，提高了工程的成本，也不利于节能环保。相比垂直桩支护技术，倾斜桩支护技术在桩身位移、内力和整体抗倾覆等方面均有着很好的优势。本文基于倾斜桩支护结构的优点，简要分析介绍了预制倾斜支护桩施工方法、支护机理及实际应用效果。

## 1 预制倾斜支护桩简介

倾斜桩无支撑支护技术是一种适用于软弱土地地区量大面广的地下一层~地下二层（或更深）基坑工程的支护技术，能够在取消深基坑工程内支撑的前提下，高效提高基坑支护结构的稳定性和变形控制能力，是新一代绿色、低碳可持续发展的无内支撑基坑支护技术。

预制倾斜支护桩，指全部或部分支护桩与竖直方向呈一定角度，且挡土构件不设置内支撑和锚杆的预制支护结构，倾斜桩支护体系具有钢架效应、斜撑效应及重力效应。主要原理为：斜直交替支护桩通过桩顶冠梁的连接，形成一个共同抵抗土体变形的钢架体系，斜桩倾斜一定角度后，相较于直桩减小了自身的桩身受力，且桩间土的存在起到限制基坑变形的作用，共同增加基坑抗倾覆稳定性，提升支护结构整体的抗变形能力。从结构形式上讲，倾斜桩类似于斜抛撑，取消了内支撑及锚杆体系，可大幅度降低工程造价<sup>[1]</sup>。

斜桩支护特点：采用与围护桩交叉施工的工序，大幅缩短了施工时长；可实现无障碍挖土，支护结构不侵入主体结构位置，主体结构施工不受支护影响；不需要大量的钢筋混凝土及立柱桩等材料，后期无需爆破、

拆除清理等工作既环保又安全更降低了施工成本；采用的止水片技术无需考虑施工缝的问题，后期结构处理极为方便；斜向支撑桩是由排桩向基坑内侧设置，不影响基坑周边建筑物和设施，可以充分利用土地资源；斜向支撑桩的三角形结构加上基坑底部土壤改良更可靠更安全；因拆除支撑而产生的应力释放问题和基坑围护悬臂的安全隐患得到彻底解决；支撑后拆工艺可以压缩挡土桩的直径和桩长更节约成本；根据土地资源以及周边环境可以做到单边支护的要求；特别适应于基坑抢险救灾等特殊环境，根据实验结果在改良土壤的同时加注水玻璃可以在短时间内达到土壤改良要求。

## 2 预制倾斜支护桩施工

预制倾斜支护桩的安装设备市场上种类较多，可同时满足斜桩、中直桩施工，可施工管桩或方桩，也可按需施工定制桩型。采用标准配置的液压环保打桩锤，可通过调整现有桩架立柱的倾斜角度，进行斜桩的施工，工作状态下，向后最大倾斜角度不适宜超过15度。施工方法可以简略称为“竖直起吊、斜向打桩、直吊斜打”。液压锤桩机就位后，调整其立柱垂直稳定，将预制管桩吊起，桩尖与桩位中心重合对准，再检查桩顶扣好桩帽。通过调整现有桩架支撑杆油缸实现立柱的先后倾斜角度，并在立柱加装二次支撑和扶桩器，保证立柱的稳定性和安全性；在预制管桩的侧面设置坡度仪，使预制管桩的倾斜角度满足设计要求，角度偏差不得超过0.5%。采用重锤闷打的操作方法，以较大的锤芯重量、较低的冲击速度、较长的锤击作用时间为特点，高效、高质量的完成预制管桩斜桩的施工。在安装完成后，还需要对支护桩进行全面的检查。这包括对桩身的完整性、倾斜角度和深度的复核，以及桩身与基坑壁之间的贴合度等项目的检查，只有确保每一项指标都符合设计要求后，才能进行下一道工序的施工<sup>[2]</sup>。

倾斜预制桩施工应保证施工场地附近建（构）筑物

的使用和安全不受影响,宜采取有效的防止挤土效应和隔振等措施。施工机械应结合场地周围环境、土质条件、施工工艺和桩型要求等综合选取,可采用静压或锤击等成桩工艺,施工前应校正设备施工角度等参数。倾斜预制桩桩型和成桩工艺应根据土层性质、地下水埋藏类型及基坑周边环境要求等,按安全、适用、经济、合理的原则选择,当支护桩施工影响范围内存在对地基变形敏感的地下压力管线或特殊重要保护建筑物时,禁止采用具有挤土效应严重、易塌孔、易缩径或有较大振动的桩型和施工工艺。

当倾斜预制桩采用静压法沉桩时,应符合下列规定:施工前应根据定位控制点引测定位轴线,经验收后进行倾斜桩桩位放线,并考虑场地标高对桩位的影响,桩位经检查无误后方可进行压桩施工;沉桩应根据支护设计图纸结合现场实际情况划分施工区段,合理安排沉桩的先后次序,以控制挤土效应;沉桩前应测量桩的设计角度并检查桩头质量,合格后方可施工,沉桩过程中应校核桩身倾斜角度符合设计要求;送桩应采用专用钢质送桩器,不应将工程桩用作送桩器;对正桩位,夹持器抱紧,设备调平后,调整桩身垂直度及倾斜角度满足设计要求后压入。

有下列情况之一时,倾斜预制桩施工应立即暂停压桩作业,分析原因并采取针对性措施:压力表读数明显与地勘报告地层情况土层性质不一致;桩难以穿越具有软弱下卧层的硬夹层,实际能够压入的桩长与设计桩长相差较大;出现异常响声,压桩机械工作状态出现异常;出现桩头混凝土剥落或桩身纵向裂缝等异常现象;桩身夹持机具打滑;地面下陷严重压桩机倾斜不能控制桩身垂直度。

### 3 预制倾斜支护桩支护效果研究

#### 3.1 支护机理分析

相比于传统支护结构形式,倾斜桩组合支护结构可产生较大的桩身轴力,发挥了桩身轴力的贡献(内斜桩受压、外斜桩受拉),大幅度提高支护结构无支撑支护能力,工作机理产生重大改变。倾斜桩组合支护结构的工作机理主要包括地基梁作用,斜撑效应,刚架效应,重力效应,减隆效应,使无内支撑支护结构具备自稳性和自撑性。整体上看,斜撑效应与刚架效应在控制桩身与土体变形的作用上最为重要,倾斜桩组合支护结构的最大优势体现在斜桩对直桩的支撑作用上。刚架体系保证此作用的存在,斜撑效应保证此作用最大程度的发挥<sup>[3]</sup>。在斜桩倾角为 $0^{\circ}$ 时,支护结构为悬臂直桩,只有地基梁作用。随着斜桩角度的增加,地基梁作用逐渐减弱到接近于

零,这是由于斜桩桩后土体随着斜桩倾角的增大自稳能力逐渐增强,变形逐渐减小;随着斜桩倾斜角度增加,斜桩的支撑作用逐渐增大,斜撑作用占比逐渐增加,当斜桩倾角超过约 $12^{\circ}$ 时,斜撑作用成为支护桩发挥最明显的作用。

#### 3.2 数值模拟分析

数值模拟方法基于通过高精度的数值模型,能够模拟出预制倾斜支护桩在不同土压力、开挖深度等条件下的反应。(1)在模拟过程中,我们首先根据实际的工程地质条件和基坑尺寸建立了数值模型。模型中详细考虑了土层的分布、物理性质以及支护桩的几何尺寸、材料属性等因素,通过使用先进的有限元分析软件,我们能够精确地计算出支护桩在各个阶段的受力情况和变形特征。(2)分析结果表明,预制倾斜支护桩在抵抗土压力方面表现出显著的效果。由于其倾斜的设计,支护桩能够更有效地将土压力分解为沿桩身方向和垂直于桩身方向的两个分量,这种分解使得支护桩在承受土压力时能够更均匀地分布应力,避免了应力集中的问题,从而提高了支护结构的承载能力。(3)模拟结果还显示预制倾斜支护桩在控制基坑变形方面具有显著效果。由于基坑开挖过程中土体的卸载作用,基坑周围会产生一定的变形,由于预制倾斜支护桩的稳定性和强大的承载能力,它能够有效地限制基坑的变形,确保基坑的稳定性和安全性。(4)通过模拟不同倾斜角度的支护桩,研究了不同倾斜角度对支护效果的影响。数值模拟计算结果表明,适当的倾斜角度能够显著提高支护桩的支护效果,但过大的倾斜角度可能会导致支护桩的承载能力下降;在实际工程中,需要根据具体的地质条件和工程要求来选择合适的倾斜角度。

#### 3.3 现场监测与数据分析

在实际工程中,为了确保基坑的安全与稳定,同时也为了验证预制倾斜支护桩的支护效果,并进行了实时的现场监测,这一环节对于掌握支护结构的真实工作状态、评估其性能以及优化设计方案都具有重要意义。(1)采用多种监测手段,包括但不限于位移监测、应力监测以及地下水位监测等。其中,位移监测主要通过支护桩和基坑周边设置标志点,定期观测其位置变化,以此判断基坑及支护结构的稳定性;应力监测则通过在支护桩内部埋设应力计,实时监测桩身在不同深度的应力变化情况,从而了解支护桩的受力状态。(2)在收集了大量的现场监测数据后,进行了深入的数据分析。通过对比不同时间节点的数据,我们观察到预制倾斜支护桩在基坑开挖过程中的变形和受力情况;结果显示,

支护桩的倾斜设计确实有效地分散了土压力，减小了桩身的变形；并且，也注意到，在某些地质条件复杂的区域，支护桩的受力情况会有所不同，这为后续优化设计方案提供了重要依据。（3）还对监测数据进行了长期趋势分析，以预测支护桩的使用寿命和可能出现的风险点。这些数据不仅验证了预制倾斜支护桩在当前工程中的支护效果，也为以后类似工程的设计和施工提供了宝贵的经验。

### 3.4 支护效果评估与优化

支护效果评估过程中，综合考虑数值模拟分析的结果与现场实际监测数据，对支护桩在各种工况下的性能表现进行了深入研究；通过对比分析，发现预制倾斜支护桩在大多数情况下都能提供稳定的支护作用，有效抵抗土压力，控制基坑变形。但在某些特定地质条件或复杂环境下，支护桩的支护效果可能受到一定影响，如局部变形增大、应力集中等现象，并提出了一系列优化措施。（1）考虑调整桩身的倾斜角度。通过数值模拟分析，我们发现倾斜角度对支护效果有显著影响；在某些情况下，适当增加倾斜角度可以提高支护桩的侧向承载能力，更有效地抵抗土体的侧向位移；但同时，过大的倾斜角度也可能导致桩身稳定性下降，因此需要结合具体工程条件进行合理选择。（2）考虑增加桩身数量。在基坑长度较大或地质条件较差的区域，通过增加支护桩的数量可以进一步提高整体支护结构的稳定性和承载能力；这种优化措施可以有效分散土压力，减小单桩的受力，从而提高支护效果。（3）还考虑改进桩身材料和连接方式。通过使用高强度、高耐久性的材料，可以提高支护桩的使用寿命和安全性；并且优化桩身之间的连接方式，如采用刚性连接或柔性连接等，也可以进一步提高支护结构的整体性能<sup>[4]</sup>。

### 3.5 与其他围护结构的对比分析

为了更全面地评估预制倾斜支护桩的支护效果，将其与传统的基坑围护结构进行了深入的对比分析；这一对比不仅涉及支护效果，还考虑了施工周期、成本等多

个方面。（1）从支护效果上看，预制倾斜支护桩凭借其独特的倾斜设计，在抵抗土压力和控制基坑变形上表现出色。与传统的垂直支护桩相比，倾斜桩身能够更有效地分解和利用土体的推力，从而提高支护结构的整体稳定性；在实际应用中，预制倾斜支护桩的变形控制效果明显优于传统支护结构，特别是在软土或复杂地质条件下，其优势更为明显。（2）在施工周期方面，预制倾斜支护桩展现了显著的优势。由于桩身在工厂预制，现场安装快速且方便，大大缩短了基坑工程的施工时间。相比之下，传统的现浇支护结构需要较长的施工周期，且受天气、施工环境等多种因素影响较大；预制倾斜支护桩的快速施工特性对于缩短整体工程周期、提高工程效率具有重要意义。（3）从成本角度考虑，预制倾斜支护桩也具有一定的优势。虽然预制桩的初始投资可能略高于传统支护结构，但由于其施工工期短、造价低、材料浪费少等特点，使得总体成本得到有效控制；预制倾斜支护桩的标准化生产也降低了质量控制难度，减少了因施工质量问题而带来的额外成本。

### 结语

预制倾斜桩支护高效地发挥了桩-土相互作用，具备良好的位移和稳定控制能力，在工期、造价、材耗方面较水平内支撑支护显著降低，提升了无支撑技术的应用深度，推动了基坑工程在节能减排和持续健康发展方面的进步。

### 参考文献

- [1]倪沈洁.建筑工程基坑围护施工技术要点分析[J].砖瓦,2021(11):164-165.
- [2]袁维锋.建筑工程中深基坑围护施工技术要点分析[J].工程技术研究,2020,5(23):46-47.
- [3]郑刚,吴小波,周海祚,刘照朋.基坑倾斜桩无支撑支护机理与工程应用[J].施工技术,2021,50(13):157-162.
- [4]杨林,周志健,杜亮,等.高层建筑基坑围护结构技术探讨[J].施工技术,2021,44(S1):18-20.