

长螺旋钻孔灌注桩施工技术的工艺特点与应用分析

邓少林

中冶武勘工程技术有限公司 湖北 武汉 430000

摘要：本文深入探讨了长螺旋钻孔灌注桩施工技术的工艺特点及其在不同工程场景的应用效果与优势。文章首先概述了长螺旋钻孔灌注桩的定义、分类及发展历程，随后详细剖析了其工艺特点，包括高效成孔与灌注、成本控制、环保性能、对场地要求的适应性、地层适应性、成桩质量与完整性、承载力提升以及技术短板。通过实际案例，文章阐述了长螺旋钻孔灌注桩在建构筑物基础桩、基坑与深井支护桩、不良地质条件下的应用优势，并讨论了与其他施工技术的结合应用。该技术因其独特的工艺特点和广泛的应用前景，在土木工程领域具有重要价值。

关键词：长螺旋钻孔灌注桩；工艺特点；应用分析

引言：伴随我国基础设施建设发展，土木工程对桩基技术要求提升。长螺旋钻孔灌注桩技术凭独特工艺优势，在建筑、交通等工程广泛应用。研究其工艺特点与应用，对提高工程质量、降低成本、推动技术进步意义重大。

1 长螺旋钻孔灌注桩施工技术概述

1.1 长螺旋钻孔灌注桩的定义与分类

1.1.1 定义

长螺旋钻孔灌注桩技术是借助长螺旋钻机将钻孔深度钻至设计要求，通过钻杆芯管将混凝土压送至孔底，形成混凝土桩体。在混凝土灌注至设计标高后，借助钢筋笼自重或专门震动装置将钢筋笼一次插入混凝土桩体至设计标高，最终形成钢筋混凝土灌注桩。此技术将钻孔与灌注两大关键工艺相结合，实现连续作业，极大提高了施工效率。

1.1.2 分类

(1) 按承载性状分类：摩擦桩和端承摩擦桩，其桩顶竖向荷载主要由桩侧阻力承担；端承型桩，像端承桩和摩擦端承桩，桩顶竖向荷载主要由桩端阻力承受。不同承载性状的桩适用于不同的工程地质条件和上部结构荷载要求。例如，在软土地基上，摩擦桩能有效利用桩侧土体的摩擦力来承载上部结构荷载；而在坚硬岩石地基上，端承桩可将荷载直接传递至基岩，提供强大的承载能力。

(2) 按成桩方法分类：非挤土桩，包含干作业法钻（挖）孔灌注桩等，此类桩在成桩过程中对桩周土体扰动较小；部分挤土桩，如长螺旋压灌灌注桩、冲孔灌注桩等，成桩过程会对桩周土体产生一定程度的挤压；挤土桩，例如沉管灌注桩，成桩时对桩周土体的挤密作用较为显著。长螺旋压灌灌注桩作为部分挤土桩，兼具成

孔效率高和对土体适当挤密的特点，能有效提高桩身与土体的相互作用^[1]。

(3) 按桩径大小分类：小直径桩，设计直径 $(d \leq 250\text{mm})$ ，常用于一些对承载要求相对较低或空间受限的小型工程；中等直径桩， $(250\text{mm} < d < 800\text{mm})$ ，应用较为广泛，适用于大多数一般建筑工程；大直径桩， $(d \geq 800\text{mm})$ ，主要用于大型高层建筑、桥梁等对承载能力要求极高的工程。

1.2 发展历程

长螺旋钻孔灌注桩技术起源于20世纪60年代初期，美国人发明的单管式长螺旋钻机标志着该技术的初步诞生。这一阶段，长螺旋钻孔灌注桩技术处于探索和初步应用时期，设备和工艺相对简单。到了20世纪70年代中期，日本人改进了双管式长螺旋钻机，通过优化设备结构和施工工艺，进一步提升了施工效率和质量。双管设计使得混凝土灌注过程更加顺畅，减少了堵管等问题的发生。随后，在20世纪80年代末期，日本人又开发了三管式长螺旋钻机，增加了诸如钢筋笼下放等辅助功能，使得这一技术更加成熟和完善，能够更好地适应复杂的工程需求。

2 长螺旋钻孔灌注桩施工的工艺特点

2.1 效率

2.1.1 成孔效率

与传统钻孔灌注桩相比，长螺旋钻孔灌注桩成孔速度快30%-50%。如常规住宅项目，普通工艺成孔一根桩需2-3小时，长螺旋技术仅需1-1.5小时。其连续螺旋叶片设计，钻进时能将土体不断输送至孔外，减少提钻排土次数，且自动化程度高，可快速调整参数适应不同土层。

2.1.2 灌注效率

采用超流态混凝土，流动性高。钻孔完成后，经混

凝土泵车高压输送, 10-15分钟就能完成一根桩的灌注, 比传统灌注桩工艺快。如大型商业综合体项目, 传统工艺灌注一根桩需30-40分钟, 长螺旋钻孔灌注桩仅需15-20分钟。

2.2 成本

2.2.1 设备成本

长螺旋钻机及配套设备初始投资高, 一台好的长螺旋钻机几十万元到上百万元, 加上混凝土泵车成本可观。但施工效率高, 单位时间工作量大, 分摊到单位面积成本低。如10000平方米建筑项目, 相比人工挖孔桩, 长螺旋钻孔灌注桩单位面积成本可降10%-15%。

2.2.2 施工成本

无需泥浆护壁, 节省泥浆制备、运输和处理费用, 避免泥浆污染。超流态混凝土自密实, 无需振捣, 节省振捣设备与人工费用。桩尖无虚土, 保证桩身质量, 减少返工成本^[2]。

2.3 环保

(1) 噪音与振动控制: 长螺旋钻机采用液压驱动, 运行平稳, 钻杆芯管设计优化, 施工噪音70-80分贝, 低于冲击成孔工艺的90-100分贝。在城市中心或居民区施工, 能减少对周边居民生活和工作的影响。(2) 无泥浆污染: 传统桩基需泥浆护壁, 泥浆排放处理易污染环境。长螺旋钻孔灌注桩通过钻杆芯管挤压孔壁土体保证稳定, 无需泥浆护壁, 从源头上减少污染, 降低成本。如临近河流项目, 避免泥浆对河流污染。

2.4 场地要求

长螺旋钻孔灌注桩设备以其小巧的体积, 在狭窄或地形复杂的场地中展现出灵活作业的优势。尤其在城市老旧小区改造项目中, 场地空间有限, 该设备无需大型泥浆池等辅助设施, 即可顺利施工, 极大地提高了场地利用率。另外, 钻机自带的调平功能使得其对场地平整度要求相对不高, 钻孔和灌注过程相对独立, 即便在山区或丘陵等平整度较差的工程场地, 也能通过调整钻机角度和位置, 确保钻孔的垂直度与桩身质量。

2.5 地层适应性

长螺旋钻孔灌注桩在硬土层和软土层中均表现出良好的适应性。其强大的穿硬土层能力得益于液压驱动提供的大扭矩和推进力, 以及高强度、耐磨的钻杆芯管材料和合适的刀具配置。在砂层、卵石层等硬土层中, 该技术的施工效率比普通钻孔灌注桩高出20%-30%。而在软土地层中, 钻杆芯管的旋转推进能够挤压桩周土体, 提高土体承载力和抗剪强度, 防止塌孔、缩径现象的发生。超流态混凝土的填充则进一步增强了桩身的稳定性, 这一技术在沿

海软土地基处理工程中得到了广泛应用。

2.6 成桩质量与完整性

长螺旋钻孔灌注桩的成桩质量卓越, 主要体现在混凝土密实性和桩身完整性方面。超流态混凝土以其流动性强、初凝时间长的特点, 在灌注时能充分填充钻孔, 自密实特性使得桩身混凝土密实度在不振捣情况下可达98%以上, 高于传统灌注桩工艺的95%。另外, 成桩过程中钻杆芯管将孔底土体挤压排出, 保证了桩尖无虚土, 并通过注浆进一步确保桩尖密实度。在混凝土初凝前, 注入高压空气或水排除残余气体和水分, 有效保障了桩身的完整性, 相比易出现桩身缺陷的工艺具有明显优势。

2.7 承载力提升

长螺旋钻孔灌注桩在承载力提升方面同样表现出色。超流态混凝土使桩身与土体结合紧密, 灌注时渗透到桩周土体空隙, 钻杆芯管挤压桩周土体, 从而显著提高了桩侧摩阻力, 相比普通灌注桩提高了15%-20%。同时, 桩尖无虚土与钻杆芯管注浆加固桩端土体, 混凝土压注使桩端土体密实, 注入高压空气或水进一步增强了桩端土体与混凝土的结合力, 提高了桩端承载力, 满足了大型基础设施对桩基承载力的严格要求^[3]。

2.8 技术短板

尽管长螺旋钻孔灌注桩具有诸多优势, 但在某些特定条件下仍存在短板。首先, 桩径限制是其一大挑战, 桩径一般在250mm至1500mm之间, 对于需要超大直径桩(直径大于1500mm)的工程, 如大型桥梁主墩基础、超高层建筑核心筒基础等, 该技术不如旋挖钻机成孔工艺, 后者最大桩径可达3000mm以上。其次, 深度限制也是其应用的一大局限, 适用深度一般在50米以内, 超过此深度, 钻杆刚度和稳定性受影响, 易出现钻孔偏斜、钻杆折断等问题, 同时混凝土长距离输送易离析、堵管, 因此在超深桩工程中, 冲击钻成孔灌注桩更具优势。

3 长螺旋钻孔灌注桩施工技术的应用分析

3.1 长螺旋钻孔灌注桩在建构筑物基础桩中的应用分析

长螺旋钻孔灌注桩在建构筑物基础桩领域展现出了显著的承载性能优势。它能够轻松穿透复杂地层, 如高层住宅项目中的粉质土、砂层和砾石层, 有效避免了传统工艺中常见的断桩、缩颈等问题, 从而显著提升了基础桩的承载力和稳定性。实际检测数据显示, 采用长螺旋钻孔灌注桩的单桩承载力较传统工艺灌注桩高出约20%, 充分满足了高层住宅等建筑物的需求。另外, 该技术还适用于各类建筑, 特别是在高层建筑中, 它能确保桩体的垂直度和稳定性, 有效抵抗水平和竖向荷载。例

如,在30层高的写字楼项目中,长螺旋钻孔灌注桩的桩体垂直度偏差极小,经过长期监测,即使在风荷载和地震模拟测试下,基础依然保持稳定。同时,长螺旋钻孔灌注桩还具备环保与施工便捷的优势。其施工噪音和振动相对较小,完全符合城市环保要求。在城市中心的项目中,相比传统冲击成孔灌注桩等工艺,长螺旋钻孔灌注桩的噪音和振动更低,对周边居民和办公环境的干扰大大减小。此外,该施工工艺简单快捷,能够显著缩短工期。以中等规模商业建筑为例,采用长螺旋钻孔灌注桩技术相比传统灌注桩工艺,工期可缩短约15%,有效降低成本,使项目能够更快投入使用。

3.2 长螺旋钻孔灌注桩在基坑与深井支护桩中的应用分析

长螺旋钻孔灌注桩在基坑与深井支护桩领域同样表现出色。它适用于多种土质条件,能够在复杂地质环境中形成稳定的支护结构。在深基坑开挖项目中,长螺旋钻孔灌注桩作为主要支护桩形式,不仅提高了施工的安全性和效率,还确保了支护结构的稳定性和连续性。例如,在某15米深的基坑项目中,通过严格监测钻孔垂直度并控制桩身垂直度偏差在1%以内,连续压灌混凝土保证了桩身的连续性和整体性,从而显著提高了支护结构的稳定性^[4]。

长螺旋钻孔灌注桩还具备环保和适应性强的优势。其施工噪音和振动小,符合城市建设环保要求,特别适用于城市建成区的基坑工程。同时,该技术还能适应地下水位高的环境,如沿海地区的基坑项目。结合止水帷幕等措施,长螺旋钻孔灌注桩能够有效阻止地下水渗漏,保证基坑的干燥作业环境。

3.3 长螺旋钻孔灌注桩在不良地质条件下的应用分析

在不良地质条件下,长螺旋钻孔灌注桩展现出了独特的特殊地质适应性优势。特别是在沿海、河流沿岸等高含水量、土质松软地区,该技术能够挤密桩周土体,显著提高土体的承载力和抗剪强度。例如,在沿海填海区域施工中,长螺旋钻孔灌注桩能够有效处理松散砂土和淤泥质土地基,通过成孔挤密土体并填充超流态混凝土,形成了具有良好承载力和质量的桩体。

另外,长螺旋钻孔灌注桩还具备安全与可靠性的优势。它能够减少施工安全隐患,形成稳定的桩体结构,有效防止基坑坍塌和地下水渗漏等问题的发生。在地质复杂的山区,长螺旋钻孔灌注桩可以作为基础桩或边坡

支护桩使用,显著增强土体的稳定性。同时,该技术还能适应不同深度的施工需求,为各类工程提供坚实的支撑。例如,在某河流沿岸工业园区项目中,针对场地特点采用长螺旋钻孔灌注桩作为基础桩和地基处理桩,通过调整施工参数和控制钻进速度等措施,确保了桩体的质量和稳定性。项目完成后,沉降观测和承载力检测结果表明,建筑物基础沉降均匀且道路地基承载力满足要求。

3.4 与其他施工技术的结合应用

长螺旋钻孔灌注桩与其他施工技术的结合应用,为各类工程提供了更加灵活和多样的施工方案。例如,在基坑支护工程中,长螺旋钻孔灌注桩可以与大三轴水搅拌桩等止水帷幕技术相结合,形成完整的支护体系。这种结合应用不仅能够提高基坑支护的稳定性和安全性,还能够减少施工过程中的水土流失和地下水渗漏等问题。长螺旋钻孔灌注桩还可以与旋挖机、冲击钻等施工设备相结合,根据不同地质条件和施工需求,灵活选择施工方法。这种结合应用能够充分发挥各种施工设备的优势,提高施工效率和质量。长螺旋钻孔灌注桩还可以与其他地基处理技术相结合,如注浆加固、地基处理等,形成更加完善的地基处理体系。这种结合应用能够进一步提高地基的承载力和稳定性,为各类工程提供更加可靠的基础支撑。

结束语

综上所述,长螺旋钻孔灌注桩施工技术以其高效、环保、适应性强等特点,在各类土木工程中展现出广泛的应用前景。通过深入剖析其工艺特点和实际应用案例,不仅看到了该技术在提高工程质量、降低成本方面的显著优势,也注意到了其存在的技术短板,如桩径和深度限制。未来,随着技术的不断进步和创新,相信长螺旋钻孔灌注桩将在更多领域发挥其独特优势,为土木工程领域的发展做出更大贡献。

参考文献

- [1]张凯单.长螺旋钻孔压灌桩施工技术工艺研究[J].中国室内装饰装修设计,2020(20):24-25.
- [2]吴红娜.长螺旋钻孔压灌桩施工常见问题和应对策略[J].科技创新导报,2020(21):69-70.
- [3]邓渊.薛炎彬.羊樟发.等.长螺旋钻孔灌注桩在水利工程中的应用[J].施工技术,2021,50(2):46-49.
- [4]王鑫磊.复杂地层长螺旋钻孔泵送混凝土后置钢筋笼灌注桩施工[J].门窗,2021(11):49-50.