

复杂地质条件下双动力全套管螺杆引孔潜孔锤成桩技术应用研究

付兴南 周赛赛

浙江省二建建设集团有限公司, 浙江 宁波 315200

[摘要]传统桩基施工技术在复杂地质条件下面临钻进效率低、成桩质量差等挑战,双动力全套管螺杆引孔潜孔锤成桩技术把套管护壁、螺杆钻进与潜孔锤击这三项动力机制集成在一起有效提升了成孔稳定性与施工效率,在卵石层、强风化岩层等复杂地层中该技术适应性良好可显著降低孔壁坍塌及钻进阻力风险以保障桩基成型质量,工程实践显示这一技术成桩速度快、施工控制精度高、适用范围广且有广泛推广应用价值。

[关键词]复杂地质条件;双动力全套管;螺杆引孔;潜孔锤;成桩技术

DOI: 10.33142/ect.v3i7.17190

中图分类号: TU753

文献标识码: A

Research on the Application of Double Power Full Casing Screw Drilling and Down the Hole Hammer Pile Forming Technology under Complex Geological Conditions

FU Xingnan, ZHOU Saisai

Zhejiang Provincial Erjian Construction Group Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang, 315200, China

Abstract: Traditional pile foundation construction techniques face challenges such as low drilling efficiency and poor pile quality under complex geological conditions. The dual power full casing screw drilling and down the hole hammer pile forming technology integrates the three dynamic mechanisms of casing wall protection, screw drilling, and down the hole hammer to effectively improve the stability and construction efficiency of hole formation. In complex strata such as pebble layers and strongly weathered rock layers, this technology has good adaptability and can significantly reduce the risk of hole wall collapse and drilling resistance to ensure the quality of pile foundation formation. Engineering practice has shown that this technology has fast pile forming speed, high construction control accuracy, wide applicability, and wide promotion and application value.

Keywords: complex geological conditions; dual power full casing; screw lead hole; down the hole hammer; pile forming technology

引言

城市建设不断深入,复杂地质条件下桩基施工需求日益增多,在高卵石含量、强风化岩层等地质环境中传统成桩工艺容易效率低且成孔难,急需突破这一技术瓶颈,探索适用于多变地层的新型成桩工法。双动力全套管螺杆引孔潜孔锤成桩技术具有多重动力协同优势,能保障施工质量、提升作业效率,为复杂地质条件下深基础施工提供全新解决方案,其工程应用前景很重要。

1 复杂地质条件下桩基施工面临的主要挑战

桩基施工在复杂地质环境下被提出更高要求,由于传统成桩技术很难达到效率与质量的双重标准,关键问题急需深入剖析。

1.1 地层结构复杂多变

城市扩建、山区基础设施和交通工程等项目的施工现场常出现砂卵石层、淤泥层、强风化岩层、夹层层等地层条件,这类地层结构分布不均匀、成分复杂且力学性质变化大,钻进时层间突然硬化或者松散的情况很常见,会使设备负载急剧波动、钻进速率下降,还可能发生卡钻、掉钻事故,像砂卵石夹泥岩这种地层局部承载力弱、孔壁稳定性差,成孔时特别容易坍塌,进而影响成桩精度和后期承载性能,并且地下水位高时孔壁失稳的风险会加剧、护壁施工难度也会增

加,当前桩基技术的核心挑战是适应多变的地质条件。

1.2 传统设备适应性不足

复杂地层里,常规冲击钻、回转钻、冲抓钻等设备有着明显短板,像高密度卵石层或者强风化岩层中,因冲击力不够,钻进效率会大幅下降且设备振动更厉害,从而机械故障常发生,而松散流塑状粉质黏土或者淤泥层中,旋转钻进这种方式很容易扰动孔壁,进而诱发坍孔事故。传统设备大多是单一动力模式,不能有针对性地调节动力输出以适应不同地层特性,这让它多层交互、地质突变频繁区域的应用效果受到限制,且工艺刚性强,施工时实时调节和响应能力差,导致施工效率低、质量波动大,进一步制约工程进度和安全保障。

1.3 成桩质量难以保障

在复杂地质条件下,整个桩基的承载能力和使用寿命直接取决于成孔质量,传统成桩技术在地层扰动大、护壁不稳时往往没法形成规则、完整、垂直的孔形,从而导致混凝土灌注不均、断桩、桩身夹泥等质量问题,并且在含水层或者高孔隙率地层里,混凝土容易被稀释,强度下降,严重时桩基会失效,成桩时若不能精确控制钻进深度和轴线偏差,桩位布置、结构受力均衡也会受到影响,工程实践中质量事故大多集中在孔壁坍塌、桩体夹杂、桩径不均、

垂直度失控这些问题上,给工程带来不可控风险,要想高精度、高稳定性地成桩,就得系统升级设备配置和施工工艺,提高抗干扰和自适应能力。

2 双动力全套管螺杆引孔潜孔锤成桩技术原理与结构组成

复杂地质成桩是个难题,双动力全套管螺杆引孔潜孔锤技术将多动力系统融合起来且适应性很高、成孔能力高效,这让它成为工程施工里一项重要的创新手段。

2.1 技术原理综述

螺杆钻进、潜孔锤击、全套管护壁集于该技术一体,双动力协同工作使得成孔作业高效又稳定。钻进时由液压或电动驱动螺杆系统输出高扭矩旋转力,适用于中软地层的连续破碎排渣,潜孔锤高频率轴向冲击能为卵石层或风化岩等硬质地层提供强大破碎力,解决了传统钻机对高密度层破碎能力不足的问题。全套管结构随钻推进,护壁防塌效果好,特别适用于软弱或含水且孔壁稳定性差的地层。钻进期间双动力模式依据地质变化调整动力组合,实现螺旋推进和冲击破岩的有机配合,大幅提高钻进效率和孔形稳定性并减少成桩过程中的风险因素。

2.2 结构组成分析

主机动力装置、全套管护壁装置、螺杆钻头系统、潜孔锤装置和控制系统组成了该设备系统,履带式液压钻机常被选作主机,因其机动性高、功率输出能力大,能适应不同施工场地需求。全套管装置由连续推进的钢套管构成,外面设有密封装置,可同步跟进、护壁成孔,有效抵抗侧向地层压力,其前端与旋转接头连接并和螺杆钻具联动工作。螺旋叶片与排渣通道被布置在螺杆钻头,它既能提供旋转切削力,又能经钻杆把钻渣输送到孔外。潜孔锤为气动或液压驱动结构,位于钻头下方,内部有活塞冲击系统,靠高频往复运动产生冲击力以提升破岩能力。智能化控制装置对整个系统进行钻速、扭矩、压力、成孔深度等参数的实时监测,以达成施工过程的精细化调控和反馈闭环。

2.3 动力配合与施工机制

系统动力输出在不同地层条件下能灵活调节,软弱地层主要靠螺杆扭矩快速旋转切削进尺,进入卵石层或风化岩层后潜孔锤启动强力冲击使破碎效率与成孔稳定性得以提升,在互层结构里两种动力协同工作达成持续、均匀、稳定的成孔推进,施工时全套管护壁系统一直随钻下沉保障孔壁稳定、避免地层坍塌或孔径变形,同步护壁和钻进一体化设计简化了施工工序、缩短了工期且提高了成桩质量,智能控制系统可预设不同地层的施工参数并现场实时调整以有效避免人为误操作、提高施工自动化和安全性,这一技术整体施工机制工程适应性、可控性和成桩效果优良,给复杂地质条件下的桩基施工提供了高质量解决方案。

3 成桩工艺流程与关键施工控制参数分析

在复杂地质条件下,要保障桩基质量与施工效率的关键在于成桩工艺流程科学合理且施工参数控制精准,这需要进行系统化管理。

3.1 成桩施工流程解析

双动力全套管螺杆引孔潜孔锤成桩技术施工,其通常的流程包括场地准备、设备就位、钻进成孔、清孔检测、钢筋笼下放、混凝土灌注和拔管成桩等步骤。施工开始时要依据勘察资料制定详细方案,明确各地层参数和施工段落分布。设备就位后启动螺杆钻进系统进行旋转推进,这种方式适用于软弱土层和松散砂层,遇到卵石层或者强风化岩层时同步启动潜孔锤以提高破碎效率。钻进时全套管结构跟着钻动护壁防止孔壁坍塌,成孔到设计深度后开始清孔作业,要确保孔底无沉渣且符合灌注条件。接着下放钢筋笼,采用导管法或者泵送方式灌注混凝土,逐段拔除套管,完成成桩全过程。整个施工流程设备集成度高、工序衔接紧密、施工节奏可控,适用于复杂、突变地层条件下的高质量桩基建设。

3.2 关键动力参数控制

在施工的时候确保成孔质量、实时调控动力参数相当关键,像钻进扭矩、推进压力、冲击频率、套管下沉速率和成孔速度等都是主要参数,地层硬度不同螺杆扭矩设定也不一样,软土层时螺杆扭矩要设在 $10\sim 20\text{kN}\cdot\text{m}$ 范围里,碰到卵石或者硬岩就得提高到 $30\sim 40\text{kN}\cdot\text{m}$,推进压力要和扭矩联动调节,不能因压力不够而打滑且压力太大设备过载也不行,潜孔锤冲击频率稳定在 $500\sim 1000$ 次/min 才能持续破岩且孔壁结构不会受损,套管下沉速度每分钟 $10\sim 30\text{cm}$ 比较合适且要和钻进速度保持同步,不然孔口悬空或者护壁滞后就会坍塌,要根据地质反馈及时调整参数让动力系统跟着地层变化协调响应,施工管理人员要靠着监测系统实时了解钻进状态动态优化参数配置以便作业安全、连续又高效。

3.3 成孔质量控制要点

要达成高标准的成孔质量,得在全过程进行技术和管理方面的控制,钻进时需保持轴线垂直度,把孔位偏差控制在规范允许范围里以免桩体偏斜影响受力,钻进后的清孔环节对成桩质量特别关键,必须彻底清除孔底沉渣且用清孔探头检测残渣厚度并控制在 5 厘米以内,钢筋笼下放要垂直平稳,不能因碰撞孔壁导致穿孔或者钢筋笼变形,混凝土灌注必须不间断完成,中断会造成冷缝且灌注速度要与拔管速度相匹配,否则混凝土会分离或者孔壁遭到破坏,灌注时要设置导管深度和混凝土高度的监控装置以保证混凝土一直在导管出口上方实现正压灌注,拔管速度每分钟不能超过 40cm,严禁快速强力拔管使混凝土回吸,采取上述质量控制措施能大幅提高成桩的一致性、稳定性和承载性能,满足复杂地质条件下高质量桩基的需求。

4 典型复杂地层中的工程应用及效果评估

双动力全套管螺杆引孔潜孔锤技术应用于典型复杂地层时,其适应性和成桩质量可被有效验证,且相关工程实践成果有推广价值和代表性。

4.1 卵石层地质应用实例

四川成都地铁某车站基坑支护桩工程的场地地质大多为中密卵石层且局部夹杂细砂和黏性土、地下水位还高

使得成桩特别难,传统冲击钻设备施工时卡钻、坍孔、混凝土灌注失败等问题频发,项目引进的双动力全套管螺杆引孔潜孔锤成桩设备靠螺旋推进和潜孔锤一起破碎且套管全程护壁,实际施工时该设备穿透卵石层的效率提高了60%还多、单桩施工时间从原来的4小时减到1.5小时、成孔垂直度误差在1.5%以内且孔壁稳固无坍塌情况,严格把控清孔、灌注、拔管等工艺参数后桩体完整性检测优良率达到96%且有效解决了大粒径卵石层成桩质量不稳定的问题,为后续车站基坑施工奠定了可靠基础。

4.2 强风化岩层施工验证

重庆某山地道路桥梁项目的桥墩基础得穿越厚层强风化砂岩和局部中风化夹层,该地层强度差别大、岩石结构松散,钻进阻力变化剧烈,传统钻机穿透不稳定,使用双动力成桩技术后,施工设备能调整螺杆输出扭矩和潜孔锤冲击频率,在强风化段以旋进为主、冲击为辅,进入中风化层以冲击破岩为主、旋转推进协同,如此动态调节使设备适应性强、施工安全稳定,桥墩总共施桩46根,平均单桩钻进时间不到2h,桩底沉渣厚度小于3cm,混凝土灌注饱满,桩基静载试验表明承载力超设计值20%,充分证明该技术在高差异性岩层里成桩可靠、力学性能稳定。

4.3 工程效果综合评估

上述典型工程应用对比分析表明,在复杂地层里双动力全套管螺杆引孔潜孔锤技术多项关键指标表现挺好,成孔效率上该技术能普遍提升30%到70%从而使工期大幅缩短,成孔稳定性方面因有全程护壁和动力调控机制可有效避免塌孔、缩径、断桩这些质量问题,桩身质量经声波透射法、低应变法检测后发现桩体完整性优良率超90%且承载力富余度高、安全储备良好,并且该技术施工时噪音和振动比传统冲击钻设备低符合城市施工环保标准,总体评估下来这种成桩工艺综合优势明显且适应性、效率、质量都高,特别适合复杂多变地层里的高标准工程项目因而工程推广前景广阔。

5 技术优势对比分析与推广应用前景探讨

桩基施工技术不断革新,双动力全套管螺杆引孔潜孔锤技术有着独特优势且工程应用价值显著、推广前景广阔。

5.1 与传统工艺对比

传统成桩工艺有冲击钻、回转钻、冲抓钻等,和它们相比在复杂地质条件下这项技术优势明显。传统钻机大多用单一动力系统适应性不强,在高密实度卵石层或者强风化岩层里容易卡钻、断钻、成孔偏斜,双动力系统则能根据不同地层特性灵活切换或者叠加动力输出连续高效成孔。潜孔锤能强化破岩,螺杆系统稳速推进,再加上全套管护壁,坍塌、渗水、夹层破坏这些问题都能有效应对。传统设备在混凝土灌注阶段因孔形不稳定桩体常夹泥、缩径,这项技术成孔规整、垂直度高灌注质量更好控制,成桩一致性和承载力表现都能有效提升,在地质条件频繁变

化的城市工程建设中特别适用。

5.2 技术综合应用优势

在设备集成、动力耦合、智能控制等方面,本技术有着高度协同的优势,设备集成度高,能在狭小场地快速组合作业且施工灵活性很强,双动力组合既拓宽了施工地层范围,又提高了成孔过程的可控性与安全性,全套管护壁结构保障了孔壁稳定性,适用于高水位、软弱地层等高风险区域,智能化方面,系统能实时监测钻进参数与地层反馈并动态调整作业策略以减少人为误差,作业时低噪音低振动,符合城市中心区、交通枢纽等环保要求且社会适应性和工程兼容性良好,综合而言,该技术在效率、质量、环保、安全等多个方面都有显著优势,已成为解决复杂地质桩基难题的重要手段。

5.3 推广应用发展前景

城市基础设施朝着深层次、高密度、复杂环境发展,使得桩基施工面临更高的技术挑战与质量要求,而双动力全套管螺杆引孔潜孔锤技术地质适应性广、施工灵活性强,在地铁工程、高架桥基础、深基坑支护、高层建筑等领域未来应用空间会更大,且这一技术设备模块化、施工参数可复制、操作智能化,在设计、施工、运维全过程实现标准化管理也更容易,BIM技术和智能施工平台融合发展能与大数据监测、远程控制等系统深度结合,提升施工信息化与管理智能化水平,并且在绿色施工理念推动下,这一技术低扰动、低排放,符合可持续发展方向,推广潜力广阔、行业引领价值很高。

6 结束语

双动力全套管螺杆引孔潜孔锤成桩技术适应性强、效率高、成桩质量优良,在复杂地质条件下优势明显,工程实践表明传统工法在卵石层、强风化岩层等地层适应性差、成桩质量难控制,而该技术有效克服这些问题,达成安全、高效、环保的桩基施工目标,随着城市建设朝着更复杂地质条件延伸,推广应用这一技术能给深基础施工更可靠的技术保障,推动桩基工程朝着智能化、绿色化、高质量发展,应用前景广阔且在行业内有引领意义。

[参考文献]

- [1]姜文革,崔向华,郭传新.双动力头潜孔锤凿岩钻机[J].建筑机械,2015(3):37-41.
- [2]林金江.双动力头强力钻机在海滨复杂地质下硬切割咬合桩中的应用[J].江西建材,2020(12):194-195.
- [3]王晓伟.双动力头全套管咬合桩在深基坑支护中的应用[J].建筑与预算,2020(9):55-57.
- [4]薛银山.双动力头钻机全套管成孔在咬合桩施工中的应用[J].地基处理,2021,3(1):82-87.

作者简介:付兴南(1994.4—),男,陕西省铜川人,汉族,本科学历,工程师,就职于浙江省二建建设集团有限公司,从事项目安全管理工作。