

旋挖钻机施工过程分析及其控制策略研究

文 / 尹相春 山东正元建设工程有限责任公司

摘要: 随着城市化进程的加快,基础工程的建设需求日益增加,旋挖钻机作为现代基础工程施工中的重要设备,其施工效率和安全性直接影响工程质量与进度。因此,对旋挖钻机的施工过程进行深入分析,并制定有效的控制策略,对于提高施工效率、保障施工安全具有重要意义。基于此,本文首先阐述旋挖钻机的工作原理和应用范围,其次分析旋挖钻机施工过程,最后提出几条旋挖钻机施工控制策略,以供参考。

关键词: 旋挖钻机; 施工过程; 控制策略; 质量; 效率

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.01.019

引言

旋挖钻机是一种常用于土壤钻孔和地基工程中的重要设备。它具有钻孔速度快、施工效率高、适用范围广等优势,被广泛应用于建筑、桥梁、港口、道路等工程领域。然而,旋挖钻机施工过程中存在着一系列的技术问题和挑战,如场地选择、土壤情况复杂、施工控制困难等。因此,深入研究旋挖钻机的施工过程和控制策略,对于提高施工效率、保障工程质量具有重要意义。

一、旋挖钻机的工作原理和应用范围

(一) 工作原理

旋挖钻机作为一种高效的桩基施工设备,其工作原理主要基于机械、液压及电子技术的协同作用。首先,旋挖钻机的核心在于其旋转系统,并且该系统由电动机或柴油机驱动,通过齿轮箱传递动力至钻杆和钻头,这一过程涉及能量的有效转换,使得钻头能够以足够的转速和扭矩进行钻进作业。钻头的旋转不仅有助于破碎土层还促进了切削土壤的排出,从而提高了作业效率。其次,旋挖钻机的给进系统利用液压缸产生的力量,控制钻杆和钻头的垂直移动。在钻进过程中,根据地质条件的不同,操作人员可以调整给进力的大小,以适应不同的作业需求,保证了旋挖钻机在不同工况下均能保持良好的工作效率。再者,旋挖钻机的循环系统主要包括泥浆泵、泥浆管路及沉淀池等部件。泥浆泵的作用是将泥浆从沉淀池输送至钻杆顶部,然后通过钻杆内部到达钻头。泥浆在钻头处起到冷却和润滑的作用,同时将切削下来的土壤颗粒带离钻孔,最后返回沉淀池完成一个循环,这一循环过程有效地清除了钻孔内的碎屑,确保了钻孔的清洁和钻进的顺利进行。此外,现代旋挖钻机多采用先进的电子控制系统,实现对机器各关键部件的精确控制。操作人员可以通过控制面板设定钻进参数,如转速、给进力等,以满足不同工况的需求^[1]。

(二) 应用范围

1. 基础建设中的桩基施工

桩基础是各类建筑物稳固的基石,而旋挖钻机则是打造优质桩基础的得力工具。在大型建筑项目、桥梁工程以及高层建筑的施工中,凭借强大的钻进能力和精准的定位系统能够高效地完成桩孔的挖掘工作,并且可以

应对不同地质条件,无论是坚硬的岩石层还是松软的土层,都能迅速而准确地钻出符合设计要求的桩孔。旋挖钻机的作业效率极高,大大缩短了施工周期为项目的顺利推进提供了有力保障。而且,其钻进过程相对稳定能够有效减少桩孔坍塌等事故的发生,提高施工的安全性和可靠性^[2]。

2. 地质勘探与采样

地质勘探工作对于了解地下地质结构、矿产资源分布以及地质灾害预防等方面具有重要意义。旋挖钻机可以深入地下,获取不同深度的地质样本。地质学家通过对这些样本的分析能够更准确地判断地层的组成、结构和性质。在勘探过程中,旋挖钻机的钻进速度和精度能够满足地质工作者对样本采集的要求,为地质研究提供了丰富而可靠的第一手资料。同时,其灵活的操作性能使得在复杂地形和狭小空间内进行勘探作业成为可能,拓宽了地质勘探的范围和应用场景。

3. 能源开发领域的应用

在能源开发领域,旋挖钻机在石油和天然气开采中,旋挖钻机可用于钻井作业能够钻出深井,为油气资源的开采创造通道。其先进的钻探技术和高效的钻进能力,有助于提高油气开采的效率和产量。在新能源领域,如地热能开发,旋挖钻机也能发挥作用。旋挖钻机钻进地下深处,为地热能的提取和利用建立通道,推动新能源产业的发展。此外,旋挖钻机在能源管道铺设的前期工程中能够为管道的铺设打下坚实的基础^[3]。

4. 水利工程建设

水利工程对于保障农业灌溉、防洪排涝以及水资源调配等方面具有重要意义。在大坝基础施工中,旋挖钻机能够快速钻出坚固的桩孔,为大坝的稳定提供支撑。在河道整治和堤防加固工程中,它可以帮助施工人员在复杂的地质条件下进行基础处理,提高工程的质量和耐久性。在水库建设中,旋挖钻机能够高效地完成库底防渗处理和边坡支护等工作,保障水库的安全运行。而且,在水利设施的维修和改造工程中,旋挖钻机也能提供便捷的解决方案,缩短工程周期并降低施工成本。

5. 城市地下空间开发

随着城市化进程的加速,城市地下空间的开发利用

日益重要。旋挖钻机在地铁隧道建设中可以参与前期的桩基础施工和地质勘探工作，为隧道的安全掘进提供保障。在地下停车场和地下综合管廊的建设中能够快速完成桩孔施工和基础处理，提高工程的建设效率。此外，在城市地下人防工程和地下商业空间的开发中，旋挖钻机也能发挥其优势，为城市的发展拓展新的空间^[4]。

二、旋挖钻机施工过程

（一）场地准备

在旋挖钻机正式投入施工之前，施工场地首先需要进行全面而彻底的平整处理，这意味着要将地面上体积庞大的石块、高耸的树木，以及残存的建筑物废墟等各类可能阻碍施工进程的障碍物予以清除，唯有如此，才能切实保障旋挖钻机在作业不受任何外界因素的干扰。与此同时，必须依据地质勘察报告所提供的详尽信息，再结合设计方面的严格要求，精准无误地确定桩位所在的准确位置并且做好清晰明确的标记，这一环节对于后续施工的顺利开展至关重要，容不得半点马虎。另外，为了有效应对施工过程中可能出现的排水问题，相关部门要科学的布局，确保场地内的积水能够及时排出，避免因积水问题而对施工进度产生延误，对施工质量造成不良影响。除此之外，修筑施工便道要能够保证施工车辆和各类设备通行无阻，为后续一系列施工操作的顺利进行创造有利的条件。只有将这些准备工作都做到位，才能为旋挖钻机的高效施工奠定坚实的基础^[5]。

（二）钻机就位

场地准备工作圆满收官之后，旋挖钻机便要移动到特定的桩位处以完成就位操作。在这一关键环节中，需要通过对钻机支腿和履带的精心调试，来达成使钻机维持水平且稳定状态的目标。支腿的伸缩与支撑角度的调整，履带的伸展与收缩，技术人员需要精准把控每一个细节，避免对后续的施工造成不可预估的影响。与此同时，测量仪器能够对钻机的位置和垂直度展开全面、精确的测量工作。并且，要根据测量所得的数据，及时且细致地对钻机的位置和垂直度进行相应的调整。这个调整过程并非一蹴而就，可能需要反复多次的测量与修正，以确保桩孔的位置和垂直度能够符合设计要求。

（三）钻进成孔

启动钻机的动力系统，使钻杆带动钻头旋转，同时通过液压系统控制钻杆的下压和提升实现钻进和出土。在钻进过程中，技术人员要根据地质情况选择合适的钻进参数，如钻进速度、钻压等。对于不同的地层，如软土、硬土、岩石等需要采用不同的钻进方式和钻头类型。例如，在软土地层中可以采用较快的钻进速度；而在岩石地层中，则需要降低钻进速度，增加钻压，并使用专门的岩石钻头。同时，要密切关注钻进过程中的出土情况，及时判断地层的变化以便调整钻进参数。

（四）清孔

清孔这一环节的核心目标在于彻底清除孔底堆积的沉渣以及残留的泥浆，以此切实保障桩孔的优良质量。清孔的方式多种多样，其中正循环和反循环是较为常见

且行之有效的手段。正循环清孔的运作原理在于，将泥浆从钻杆的内部缓缓注入孔底，凭借泥浆的流动冲击力，将沉渣裹挟着从孔口排出。在这个过程中，泥浆的注入速度和压力需要精心调控，以确保其能够有效地带动沉渣上涌。反循环清孔是先将泥浆从孔口处注入，然后利用特殊的装置从钻杆内部将沉渣吸出。无论采用哪种清孔方式，在整个清孔过程中，都需要持续不断地对孔内泥浆的各项性能指标进行严密检测，这些指标涵盖了比重、黏度、含砂率等等。

（五）钢筋笼制作与安装

在清孔的同时可以进行钢筋笼的制作。钢筋笼一般是由主筋、箍筋以及加强筋共同构建而成需依据设计的明确要求，在专门的加工场地进行精心的焊接或者绑扎直至成型。当钢筋笼制作完毕就会被运输至施工现场。在施工现场，借助吊车之类的设备将其稳稳地垂直吊起，而后小心翼翼、缓慢有序地放入桩孔内部。在这一安装流程中，务必保证钢筋笼所处的位置精确无误，其垂直度也要精准把控。同时，要时刻警惕避免钢筋笼与孔壁发生碰撞，避免钢筋笼出现变形，甚至引发孔壁坍塌这样严重的后果。

（六）灌注混凝土

混凝土应当提前依据设计给定的配合比进行充分搅拌，而且要确保其质量完全符合相关要求。灌注混凝土通常会采用导管法来实施。将导管精准地插入孔底，然后通过导管将混凝土源源不断、连续不断地灌入桩孔之内。在灌注的整个过程中技术人员需要严格把控灌注的速度以及混凝土的坍落度。灌注速度过快或过慢，混凝土坍落度不符合标准，都可能致使混凝土出现离析现象，从而严重影响混凝土的质量和桩的整体性能。与此同时，技术人员还要不间断地测量混凝土面的上升高度，并根据测量结果及时拆除导管。

（七）桩头处理

混凝土灌注完成后，需要对桩头进行处理。在混凝土初凝前，将桩顶多余的混凝土清除，使桩顶标高符合设计要求。桩头处理完成后，技术人员要对桩身质量进行检测，如超声波检测、低应变检测等，以确保桩的质量符合设计和规范要求。

三、旋挖钻机施工控制策略

（一）钻进参数控制

钻进速度、钻压以及扭矩等参数的选定，必须全方位考量地质条件、桩径大小、桩深程度等众多因素。于软土地层而言，钻进速度能够相对加快，可倘若速度过快便有可能引发孔壁坍塌的不良状况。钻压的把控同样至关重要，过大的钻压极有可能对钻头以及钻杆造成损害，而过小的钻压则会在一定程度上影响钻进的效率。扭矩的控制亦不容小觑，其直接关联着钻机的动力输出能否切实满足钻进的实际需求。举例来说，当遭遇坚硬地层的时候应当适度降低钻进速度。因为过快的钻进速度可能导致钻头过度磨损，甚至出现卡钻等问题。与此同时，钻压的增加有助于钻头更有力地破碎坚硬岩石，

扭矩的提升则能保障钻机在面对较大阻力时依然能够稳定运转，从而保证钻进工作得以顺利推进。

（二）泥浆质量控制

优质的泥浆能够卓有成效地稳固孔壁、携带钻渣以及冷却钻头。泥浆的比重、黏度、含砂率等各项指标直接左右着其性能的优劣。若泥浆的比重过小，那么便无法切实有效地支撑孔壁，从而增加孔壁坍塌的风险。反之，比重过大则会致使钻进阻力显著增大，降低钻进效率增加施工成本。黏度适宜的泥浆能够出色地携带钻渣，一旦黏度过低，钻渣极易沉淀在孔底，影响钻孔的质量和进度。而黏度过高则会严重影响泥浆的流动性，使得其在孔内的循环不畅，无法充分发挥应有的作用。含砂率过高同样会削弱泥浆的护壁效果，使得孔壁稳定性下降，增加施工过程中的安全隐患。

（三）桩位及垂直度控制

桩位的精准性以及垂直度，乃是旋挖钻机施工过程中极为关键的控制要点。在正式施工之前，技术人员必须要通过精细且准确的测量定位来明确桩位，且偏差必须严格把控在许可的范围之内，这一环节的精准程度，直接关联着后续施工的质量以及整个工程的稳定性。钻进进程中，桩位的准确性和桩身的垂直度，不仅紧密关系到桩基础的承载能力，更是对整个工程的结构稳定性有着深远的影响。为了实现精准测量，施工单位可以引入先进的测量仪器，诸如全站仪、水准仪等等为桩位的确定和垂直度的监测提供可靠的数据支持。同时，在钻机上装配垂直度监测装置便能及时且直观地了解钻机的倾斜状况，从而能够迅速进行纠正操作，全力确保桩位的准确无误以及桩身的垂直挺拔。比如，在地质条件较为复杂的施工场地，由于地层的不均匀性或者地下障碍物的存在，可能会导致钻机在钻进过程中出现微小的倾斜。

（四）清孔效果控制

清孔效果的优劣直接左右着桩身的质量和承载能力。清孔的核心目的在于彻底清除孔底堆积的沉渣以及残留的泥浆，使孔底达到设计所要求的清洁程度，从而为后续的施工奠定坚实基础。施工人员应根据实际的地质情况、桩孔直径、深度等因素，审慎选择最为合适的清孔方式。与此同时，在清孔过程中需要持续不断地对孔内泥浆的性能以及沉渣的厚度进行检测。只有确保泥浆的性能符合要求，沉渣厚度控制在标准范围之内，才能判定清孔达到了预期的效果。

（五）钢筋笼制作与安装控制

在制作钢筋笼之时，必须严格依照设计的要求，对钢筋的规格、间距、焊接质量等诸多方面进行精细把控。钢筋的焊接务必牢固可靠，如此才能避免在吊运和下放的过程当中发生变形或者开焊的情况，这就要求焊接工人具备精湛的技艺和高度的责任心，严格遵循焊接工艺规程，确保每一个焊点都达到质量标准。在安装钢筋笼的环节，要全力保证其位置的准确无误以及良好的垂直度，同时还要小心翼翼地避免其与孔壁发生碰撞。

为了实现平稳吊运和下放，施工单位可以采用多点起吊的方式，从而确保钢筋笼能够平稳地进入孔内。并且，通过定位钢筋或者垫块的合理设置确保钢筋笼的保护层厚度符合设计要求。

（六）混凝土灌注控制

混凝土灌注是旋挖钻机施工的最后关键步骤。混凝土的配合比、坍落度、灌注速度等都需要严格控制。配合比应根据设计要求和原材料性能进行优化设计，确保混凝土具有良好的和易性和强度。坍落度要适中过小会影响灌注的顺畅性，过大则可能导致混凝土离析。灌注速度要根据桩径、桩深和混凝土供应能力合理确定，避免灌注中断或过快导致桩身质量问题。在灌注过程中要不断测量混凝土面的上升高度及时拆除导管，保证导管埋深符合要求。同时，要注意观察混凝土的灌注情况，如有异常应及时采取措施处理。

（七）施工安全控制

操作人员必须经过专业培训，具备相应的资质和技能。在施工前，相关部门要对钻机进行全面检查，确保设备性能良好且安全装置有效。施工现场要设置明显的警示标志，划定作业区域，防止无关人员进入。在钻进和起吊作业时，技术人员要严格遵守操作规程，防止发生机械事故和物体打击事故。同时，要注意用电安全，防止触电事故的发生。遇到恶劣天气条件，如大风、暴雨等，应停止施工，确保人员和设备的安全。

结束语

旋挖钻机作为一种高效的基础工程施工设备，在现代工程建设中扮演着越来越重要的角色。对旋挖钻机施工过程的深入分析和控制策略的研究，不仅可以提高施工效率和安全性，还可以为工程管理提供科学依据。未来，随着技术的不断进步，旋挖钻机的应用将更加广泛，其在施工过程中的控制策略也将更加完善，为实现高质量、高效率的基础工程建设贡献力量。

参考文献

- [1] 许祥，唐琦军，任凯，等. 旋挖钻机施工过程分析及其控制策略研究[J]. 机电工程，2023，40（12）：1907-1914.
- [2] 范强生，张梦慈. 大型旋挖钻机在长江大桥桩基工程中的应用[J]. 工程机械，2024，55（06）：183-187+15.
- [3] 开前正，卫世全，彭焕宝，等. 全套管全回转旋挖灌注桩施工技术在超厚砂夹砾石层地质中的应用[J]. 居业，2024，（05）：77-79.
- [4] 宁俊峰. 徐工XR580HD、XR400E旋挖钻机在硬质泥岩超长桩基中的应用[J]. 工程技术研究，2024，9（07）：95-97.
- [5] 黄袁媛，王康宇，宁英杰，等. 土岩结合地层纯钢双筏板预制旋挖钻机作业平台优化设计研究[J]. 城市建筑，2024，21（07）：229-232.

作者简介：尹相春（1974—），男，汉族，山东日照人，本科学历，工程师，研究方向为建筑施工技术。