

旋流井在超深基坑施工中的关键技术分析

何翔宇

河北省安装工程有限公司 河北 石家庄 050000

摘要：旋流井在超深基坑施工中面临地质条件复杂、开挖深度大、周边环境影晌显著及防水要求高等技术难点。其关键技术涵盖沉井制作与下沉、地下连续墙支护、降水与抗浮及纠偏与监测（动态纠偏、多维度监测）。未来发展趋势聚焦智能化与自动化技术应用、深部地质精准探测、多学科交叉创新及绿色环保导向，以提升施工安全性与可持续性。

关键词：旋流井；超深基坑施工；关键技术；分析

引言：随着城市化进程加速，超深基坑工程在高层建筑、地下空间开发中愈发普遍。旋流井作为基坑支护与地下水控制的关键结构，其施工质量直接影响工程安全与周边环境稳定。然而，超深基坑施工中地质条件的不确定性、超大开挖深度带来的土体应力变化、周边建（构）筑物保护要求及严苛的防水标准，对旋流井施工技术提出了更高挑战。本文针对旋流井在超深基坑中的施工难点，系统分析关键技术要点，并展望技术发展方向，为工程实践提供参考。

1 旋流井在超深基坑施工中的难点

1.1 地质条件复杂

超深基坑施工中，旋流井面临的地质条件往往极为复杂。不同区域地层岩性差异显著，软土地层分布广泛，如淤泥质土具有高压缩性、低强度特性，易导致基坑侧壁失稳；流沙层则流动性强，开挖时极易发生涌沙现象，破坏土体结构平衡。

1.2 开挖深度大

随着超深基坑深度不断增加，旋流井施工难度呈指数级上升。超深开挖致使土体应力释放量巨大，坑底易出现隆起变形，基坑侧壁承受的土压力显著增大，导致支护结构受力复杂。同时，深层土体受地下水影响大，在高水头压力下，土体抗剪强度降低，增加了基坑坍塌风险。

1.3 周边环境影晌大

旋流井在超深基坑施工时，周边环境的制约因素不容忽视。基坑邻近建筑物、地下管线及交通设施时，施工引起的土体变形易导致周边建筑物沉降、倾斜，地下管线破裂、位移，交通设施受损。此外，城市区域施工还需考虑噪音、振动对周边居民生活的影响，以及对周边商业活动的干扰。

1.4 防水要求高

超深基坑所处地下水位往往较高，旋流井防水面临严峻挑战。地下水的渗透作用强烈，若防水措施不到位，极易发生渗漏现象，不仅影响基坑内正常施工，还可能造成周边地下水位下降，引发地面沉降等次生灾害。同时，长期处于地下水侵蚀环境中，旋流井结构耐久性会受到严重影响，缩短工程使用寿命^[1]。

2 旋流井在超深基坑施工中的关键技术

2.1 沉井制作与下沉技术

2.1.1 沉井分节制作

在超深基坑旋流井施工中，沉井分节制作是确保施工质量与安全的重要环节。由于超深基坑所需沉井高度大，一次性制作易因自重过大导致地基承载不足，引发沉井不均匀沉降或倾斜。因此，通常采用分节制作方式，根据沉井总高度、地质条件及施工设备能力，合理规划每节高度。一般首节高度需确保沉井在浇筑过程中保持稳定，后续各节制作需严格控制模板安装精度、混凝土浇筑速度与均匀性，防止因自重增加引发沉井下陷失控。同时，分节处需设置可靠的连接构造，保证各节之间协同受力，确保沉井整体结构的稳定性与完整性。

2.1.2 刃脚支设形式

刃脚作为沉井下陷的关键部位，其支设形式直接影响沉井下陷的顺利程度与施工安全。常见的刃脚支设形式包括垫架法、砖垫座法和土胎模法。垫架法适用于软弱地基，通过在沉井刃脚处设置垫架分散沉井重量，保证沉井在制作和下沉初期的稳定性；砖垫座法利用砖砌体作为刃脚支撑，适用于土质较好且有一定承载能力的地基，可降低施工成本；土胎模法则是利用天然土体修整成型作为刃脚模板，在土质均匀且稳定的条件下使用，能减少材料消耗。但无论采用何种支设形式，均需严格控制刃脚的水平度与垂直度，确保其受力均匀，避免在下陷过程中出现偏斜或损坏。

2.1.3 沉井下沉方法

沉井下沉方法的选择需综合考虑地质条件、沉井结构及周边环境。常见的下沉方法有排水下沉和不排水下沉。排水下沉适用于地质条件较好、渗水量较小的情况,通过降低井内水位,减少土体对沉井的侧压力,利用沉井自重下沉。该方法可直接观察井底情况,便于及时处理障碍物,但需注意防止涌砂、流土等现象。不排水下沉则适用于地质条件复杂、渗水量大或周边环境对降水敏感的工程,通过保持井内水位高于井外,平衡土体压力,避免土体扰动。施工时需采用机械抓斗或水力吸泥等设备取土,控制下沉速度与方向,防止沉井突沉、超沉或倾斜,确保下沉过程安全可控。

2.2 地下连续墙支护技术

2.2.1 工艺选型

在超深基坑旋流井施工中,地下连续墙工艺选型需精准适配工程需求。抓斗成槽凭借其施工效率高、成本低的优势,在软土地层中应用广泛,但面对硬岩地层时成槽效率大幅下降;铣削成槽工艺对硬岩、卵砾石等复杂地层适应性强,能实现高精度成槽,不过设备投入与能耗较高;钻抓结合成槽则取长补短,先用钻机破除硬岩,再以抓斗取土,适用于多种地层。此外,双轮铣等新型工艺虽可实现高精度成槽与垂直度控制,但设备成本高昂、操作难度大。合理选择工艺,不仅能保障施工进度,更是确保支护结构安全、降低工程成本的关键。

2.2.2 绕流控制

地下连续墙施工中,混凝土绕流问题严重威胁墙体质量与基坑安全。槽段接头止水措施失效、混凝土浇筑速度过快及导管埋深不当是绕流的主要诱因。止水钢板安装不牢、锁口管或接头箱拔管过早,会致使混凝土渗入相邻槽段;浇筑时混凝土流速失控,也会突破止水防线。绕流不仅破坏槽段接头防水性能,还可能引发钢筋笼无法下放、墙体厚度不足等问题,严重影响支护结构整体性。因此,需通过优化接头构造、精确把控拔管时机与浇筑参数,从根源上遏制绕流现象发生。

2.2.3 槽壁稳定控制

超深基坑地下连续墙成槽时,槽壁稳定性是施工安全的核心保障。地质条件、泥浆性能与施工工艺是影响槽壁稳定的关键因素。在透水性强的砂层、粉土层,泥浆易渗漏,削弱护壁效果;泥浆指标不达标,无法形成有效泥皮,会引发槽壁坍塌。此外,成槽机械振动过大、速度过快或槽段暴露时间过长,均会打破土体应力平衡。槽壁坍塌不仅延误工期,还可能造成周边地面沉降、建筑物倾斜等严重后果。因此,需严格优化泥浆配

比、控制成槽节奏,并辅以合理支护措施,确保槽壁在施工全程保持稳定。

2.3 降水与抗浮技术

2.3.1 承压水位处理

在超深基坑旋流井施工中,承压水是影响基坑安全的关键因素之一。当基坑开挖揭露承压水层时,过高的承压水头可能冲破坑底土体,引发突涌、流砂等灾害,严重威胁施工安全与工程质量。由于超深基坑涉及多层地质结构,各层承压水分布复杂,水压难以精准预测。同时,若采用传统降水方法盲目降低承压水位,不仅可能导致周边地面沉降,危及邻近建筑物和地下管线安全,还会因降水过度引发水资源浪费。此外,降水过程中不同含水层间的水力联系复杂,易出现串层现象,进一步增加了承压水位控制的难度。因此,科学评估承压水压力、合理制定降水方案,成为超深基坑施工中亟待解决的关键问题。

2.3.2 抗浮措施

超深基坑施工完成后,地下水对结构产生的浮力可能导致旋流井等地下结构上浮,影响工程正常使用。在地下水水位较高的地区,若抗浮措施不当,结构上浮变形会引发裂缝、渗漏等问题,严重时甚至导致结构破坏。传统抗浮措施如增加结构自重,可能受场地条件、经济性等因素限制;抗浮锚杆、抗浮桩等主动抗浮技术,在复杂地质条件下,其锚固力难以保证,且施工质量控制难度大。此外,地下水水位受季节变化、周边降水等因素影响波动明显,难以精确掌握浮力变化规律,使得抗浮设计与施工面临挑战。同时,抗浮措施与主体结构的协同作用也需精准把控,否则易出现结构局部受力不均,增加工程隐患。

2.4 纠偏与监测技术

2.4.1 纠偏措施

在超深基坑旋流井施工过程中,沉井下沉或支护结构变形易引发偏移,严重影响工程质量与安全。施工中,土体软硬不均、下沉速度控制不当、荷载分布失衡等因素,都会导致沉井或支护结构偏离设计位置。例如,当沉井一侧土体强度较低时,易向该侧倾斜;支护结构受力不均,则可能发生侧向位移。传统的纠偏方法如偏除土法,通过在沉井高侧刃脚处取土,促使沉井向低侧倾斜复位,但此方法对取土量和速度要求极高,操作不当易引发突沉;压重纠偏虽能增加低侧荷载辅助复位,却可能因额外荷载影响土体稳定性。此外,液压纠偏系统虽能实现精准调控,但设备成本高且对施工环境要求严格。因此,需结合工程实际,综合运用多种纠偏

措施,才能有效控制偏差。

2.4.2 监测技术

超深基坑旋流井施工监测是预防安全事故、保障施工顺利进行的重要环节。监测内容涵盖基坑位移、沉降、土体应力、地下水位等多方面数据。由于基坑施工是动态过程,土体应力不断变化,周边环境因素也会对基坑稳定性产生影响,传统人工监测存在频次低、数据滞后、精度不足等问题,难以满足超深基坑施工实时性和准确性要求。例如,人工测量基坑位移时,易受天气、人为操作等因素干扰,导致数据误差。而自动化监测技术虽能实现高频次、高精度数据采集,通过传感器实时传输数据并生成变化曲线,但面临传感器布置复杂、设备维护成本高、数据传输稳定性待提升等挑战。此外,如何从海量监测数据中快速分析风险趋势,精准预警潜在安全隐患,也是监测技术应用中的关键难题^[2]。

3 旋流井在超深基坑施工技术的发展趋势

3.1 智能化与自动化技术应用

在超深基坑旋流井施工领域,智能化与自动化技术正成为提升施工效率与安全的核心驱动力。传统施工依赖人工经验与手动操作,存在效率低、误差大、安全风险高等问题。未来,智能机械设备将广泛应用,如自动化沉井下沉系统,通过集成传感器实时监测下沉姿态,结合算法自动调整挖土速度与位置,实现高精度纠偏;地下连续墙成槽过程中,智能铣槽机可根据地质变化自动优化铣削参数,提升成槽质量。同时,自动化监测系统将实现基坑全生命周期数据采集,利用物联网与大数据分析技术,实时预测施工风险并自动预警,推动施工管理从被动响应向主动防控转变,显著降低人为干预带来的不确定性。

3.2 深部地质环境精准探测与优化设计

深部地质条件的复杂性是超深基坑施工的关键挑战,精准探测与优化设计是未来技术发展的重点方向。传统地质勘察手段受深度与精度限制,难以全面掌握深部地层特性。新兴的地球物理探测技术,如微动探测、孔中雷达等,可实现地下结构三维成像,精准识别溶洞、断层等不良地质体;结合人工智能算法对勘察数据进行深度挖掘,能够建立高精度地质模型,为旋流井设计提供更可靠依据。在设计环节,基于BIM技术的参数化设计与有限元分析将深度融合,通过模拟不同施工工况下基坑与旋流井的受力变形,优化支护结构、沉井构造等设计方案,降低因地质不确定性引发的施工风险,实现设计的精细化与科学化。

3.3 多学科交叉融合的技术创新

超深基坑旋流井施工技术的发展亟需多学科交叉融合的创新突破。单一学科技术已难以满足复杂工程需求,未来将深度融合岩土工程、结构力学、材料科学、计算机科学等多领域成果。例如,纳米材料与新型混凝土技术的结合,可研发出高强度、高抗渗性的旋流井结构材料;将生物酶加固技术引入地基处理,实现土体原位改良;借助机器人技术与自动化控制,提升狭小空间内的施工精度。同时,跨学科研究团队将成为常态,通过协同攻关解决施工中的复杂问题,如将流体力学原理应用于降水与抗浮技术优化,利用系统工程理论构建施工全过程风险管控体系,推动施工技术向集成化、智慧化方向发展。

3.4 绿色环保与可持续发展导向

在“双碳”目标与生态文明建设背景下,绿色环保与可持续发展成为旋流井超深基坑施工技术的重要发展方向。传统施工中大量消耗钢材、水泥等资源,且降水引发的地下水流失、泥浆排放造成的环境污染问题突出。未来技术将聚焦资源循环利用与生态保护,推广装配式支护结构,减少现场湿作业与材料浪费;开发新型环保泥浆材料,实现泥浆零排放或无害化处理;采用回灌技术维持地下水动态平衡,降低地面沉降风险。同时,施工设备将向电动化、低噪化升级,施工工艺设计也将融入生态友好理念,通过优化施工流程减少能源消耗与碳排放,实现超深基坑工程与自然环境的和谐共生^[3]。

结束语

旋流井超深基坑施工技术是保障工程安全与质量的核心,其发展不仅关乎地下空间开发的效率,更对城市建设的可持续性具有深远意义。面对地质复杂、环境敏感等难题,沉井制作、地下连续墙支护等关键技术为施工安全筑牢防线。未来,智能化、多学科融合及绿色环保的技术趋势,将进一步突破传统施工瓶颈,推动超深基坑工程向精准化、生态化方向迈进。这些技术的持续创新与实践,必将为城市地下空间的高效开发与安全利用提供坚实支撑。

参考文献

- [1]李波涛.简述土建施工中的深基坑开挖施工技术[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(17):118-120.
- [2]赵晓东.住宅建筑施工中深基坑支护施工技术的运用探索[J].居舍,2024,(17):143-146.
- [3]连永良.不同地质超深基坑上下同步逆作法结构施工技术研究[J].建筑施工,2024,46(05):723-726.