

水利施工钻孔灌注桩施工技术分析

李 俊

宜兴市水利工程有限公司 江苏 无锡 214200

摘 要：水利施工中，钻孔灌注桩技术因具备适应性强、承载能力高、施工便捷等优势，成为水利工程基础建设的关键工艺。本文围绕该技术展开分析，首先阐述其基本概念与应用场景，继而深入探讨桩位测量放线、钻孔施工、钢筋笼制作与安装、混凝土灌注等关键技术环节，并强调施工质量控制与检测的重要性。此外，结合行业发展趋势，从智能化施工、环保化施工、标准化规范及新材料应用等方面，展望钻孔灌注桩技术在水利工程中的未来发展方向，为提升施工效率与工程质量提供参考。

关键词：水利施工；钻孔灌注桩；施工技术

引言：在水利工程建设中，基础施工的稳定性直接影响工程整体安全与使用寿命。钻孔灌注桩技术凭借对复杂地质条件的良好适应性，被广泛应用于水坝、堤防、泵站等水利设施的基础处理。然而，水利施工环境往往面临水下作业、地质条件多变等挑战，对钻孔灌注桩的施工精度、材料性能及工艺控制提出了更高要求。当前，随着水利工程建设标准的提升与环保理念的深化，传统施工技术亟待优化升级。本文通过剖析钻孔灌注桩施工的技术要点，结合行业前沿趋势，旨在为水利工程中该技术的规范化应用与创新提供理论与实践参考。

1 水利施工钻孔灌注桩施工技术的概述

水利施工钻孔灌注桩施工技术是一种在水利工程建设中广泛应用的基础施工技术，通过使用钻孔设备在地基中钻出桩孔，然后在孔内放置钢筋笼，并灌注混凝土，从而形成具有较高承载能力的桩基础。该技术的原理是利用土体对桩身的侧摩阻力和桩端的端承力来承担上部结构传来的荷载，能够有效提高地基的稳定性和承载能力。在水利工程中，由于其施工环境复杂，常涉及水域作业，且对基础的防渗、抗冲刷等性能要求较高，钻孔灌注桩技术的优势得以充分体现。其施工过程对周边环境的影响较小，噪音低、振动小，尤其适用于城市水利工程或对环境敏感区域的施工。同时，钻孔灌注桩能够根据不同的地质条件和工程需求，灵活调整桩径、桩长和配筋，满足多样化的设计要求。此外，该技术还可进行水下作业，适用于江河、湖泊等水域环境下的水利工程基础施工，如水库大坝、水闸、码头等建筑物的基础处理。不过，水利施工钻孔灌注桩技术也存在一定的局限性。施工过程中，成孔质量、钢筋笼安装以及混凝土灌注等环节的操作工艺要求严格，任何一个环节出现

问题都可能影响桩体的整体质量，甚至导致断桩、缩颈等质量事故。而且，该技术受地质条件影响较大，在卵石层、流沙层等复杂地质条件下施工难度增加，施工风险和成本也相应提高^[1]。

2 水利施工钻孔灌注桩施工的关键技术

2.1 桩位测量放线

桩位测量放线是钻孔灌注桩施工的首要环节，其精度直接影响后续成桩质量与整体工程结构稳定性。施工前，需依据设计图纸与坐标控制点，采用全站仪、GPS-RTK等高精度测量仪器进行定位放样。首先，对施工现场进行地形测绘与控制点复核，确保基准数据准确无误；随后，根据桩位平面布置图，逐一定出桩位中心，并设置明显标识，如打入木桩、浇筑混凝土定位桩或埋设钢护筒。为防止施工过程中桩位偏移，需在桩位周边设置至少三个护桩，形成闭合控制网，便于后续复测校核。同时，测量放线完成后，需进行三级复核制度，即施工班组自检、项目部复检、监理单位终检，确保桩位偏差控制在规范允许范围内（一般不超过50mm）。此外，在水域环境施工时，需考虑水流、风浪等因素对测量精度的影响，可采用水上定位平台结合实时动态差分技术（RTK），实现高精度水下桩位放样，避免因桩位偏差导致的基础承载力不足或结构受力不均问题。

2.2 钻孔施工

钻孔施工是决定成桩质量的关键工序，需根据地质条件、桩径与桩长要求，合理选择钻孔设备与工艺。常用的钻孔机械包括旋挖钻机、回旋钻机、冲击钻机等。在黏土、粉土等软土地层，旋挖钻机凭借其高效、低扰动的特点，可快速成孔；而在卵石层、岩层等硬质地层，则多采用冲击钻机或回旋钻机。钻孔过程中，需严格控制泥浆性能指标，通过调整泥浆比重、黏度与含砂

率,形成稳定护壁,防止塌孔。一般情况下,泥浆比重宜控制在1.1-1.3之间,黏度为18-22s,含砂率不超过2%。同时,应实时监测钻孔垂直度,采用测斜仪或超声波检测仪进行动态检测,若发现偏斜,需及时调整钻机位置或采用扫孔纠偏措施。此外,清孔环节至关重要,成孔后需进行两次清孔:首次利用钻具原位清孔,降低孔底沉渣厚度;二次清孔则在钢筋笼与导管安装后,通过导管进行换浆清孔,确保沉渣厚度满足设计要求(端承桩不超过50mm,摩擦桩不超过100mm),避免因沉渣过多导致桩端承载力下降。

2.3 钢筋笼制作与安装

钢筋笼作为钻孔灌注桩的受力骨架,其制作与安装质量直接关系到桩体承载性能。制作时,需严格按照设计图纸进行钢筋下料、弯曲与焊接,主筋与箍筋的间距、直径、搭接长度等参数必须符合规范要求。采用电弧焊或机械连接方式时,应确保焊缝饱满、接头强度达标,必要时进行抽样检测。为保证钢筋笼在运输与吊装过程中不变形,需设置加强箍筋与内支撑结构,并在主筋外侧设置混凝土保护层垫块,确保保护层厚度均匀(一般为50-70mm)。安装阶段,钢筋笼需通过吊车或钻机进行吊装,起吊时采用双点或多点吊装,防止钢筋笼弯曲变形。入孔后,需严格控制钢筋笼的标高与中心位置,通过定位筋将其固定在孔口,避免灌注混凝土时发生上浮或偏移。对于长桩或深桩,可采用分段制作、现场焊接的方式进行安装,焊接过程中需保证主筋轴线一致,焊缝质量符合要求,并控制焊接时间,减少钢筋笼在孔内的停留时长,防止孔壁坍塌。

2.4 混凝土灌注

混凝土灌注是形成完整桩体的最后工序,其施工质量直接影响桩身强度与完整性。灌注前,需对混凝土的配合比进行严格设计与试验,确保其和易性、流动性与强度满足要求。一般采用水下混凝土,坍落度控制在180-220mm之间。灌注时,采用导管法进行施工,导管需具备良好的密封性与强度,底部距孔底保持300-500mm的距离。首灌混凝土需保证足够的方量,以确保导管埋深不小于1m,形成有效隔水栓,防止泥浆混入混凝土中。灌注过程中,需连续进行,避免中断,同时实时测量混凝土面高度,控制导管埋深在2-6m之间,防止导管拔出混凝土面导致断桩或埋管过深难以提升。此外,需严格控制灌注速度,避免因速度过快导致混凝土离析或钢筋笼上浮。灌注完成后,需超灌一定高度(一般为0.8-1.0m),以保证桩顶混凝土强度,待混凝土终凝后,凿除桩头浮浆与松散层,露出密实混凝土。

2.5 施工质量控制与检测

施工质量控制与检测贯穿钻孔灌注桩施工全过程,是保障工程安全的重要手段。施工过程中,需建立完善的质量管理制度,对各工序进行严格把控。例如,对原材料(钢筋、水泥、砂石等)进行进场检验,确保其性能指标符合设计要求;对钻孔、钢筋笼安装、混凝土灌注等关键工序进行旁站监督,及时发现并纠正质量问题。施工完成后,需采用多种检测方法对桩身质量进行检验。常用的检测技术包括低应变法、声波透射法与钻芯取样法。低应变法通过检测桩身的振动响应,判断桩身完整性,适用于大面积普查;声波透射法则利用超声波在混凝土中的传播特性,检测桩身内部缺陷,精度较高;钻芯取样法可直接获取桩体混凝土芯样,进行强度试验与缺陷观察,是最直观可靠的检测方法,但成本较高。通过多种检测手段的综合应用,可全面评估桩体质量,确保水利工程基础的安全性及可靠性,对不合格桩及时采取补强或处理措施,避免安全隐患^[2]。

3 水利施工钻孔灌注桩施工技术的发展趋势

3.1 智能化施工

智能化施工是水利钻孔灌注桩技术突破传统模式的重要方向。随着物联网、大数据、人工智能与5G通信技术的深度融合,施工过程从“经验驱动”向“数据驱动”转变。在实际施工中,传感器网络被广泛部署于钻机、钢筋笼、混凝土灌注设备等关键部位,可实时采集孔深、泥浆比重、混凝土坍落度、钢筋笼沉降等关键数据,并通过云平台实现数据的整合与分析。例如,利用AI算法对钻孔过程中的地层变化数据进行动态建模,提前预测可能出现的塌孔风险,自动调整钻进速度和泥浆配比;借助无人机与激光雷达技术,可对施工场地进行三维扫描建模,辅助制定最优施工路径,避免设备碰撞与施工干扰。此外,施工机器人的应用逐步普及,如自动焊接机器人完成钢筋笼加工,减少人工操作误差;智能灌注机器人通过压力传感器精确控制混凝土灌注速度与高度,保障成桩质量均匀性。智能化施工不仅显著提升了施工效率与质量稳定性,还能有效降低因人为失误导致的安全事故,成为未来水利工程基础施工的核心竞争力。

3.2 环保化施工

在“双碳”目标与生态保护政策的推动下,环保化施工成为水利钻孔灌注桩技术发展的必然要求。首先,泥浆处理工艺的革新是环保施工的关键环节。传统废弃泥浆往往因含有重金属、化学添加剂等污染物,直接排放会对水体和土壤造成严重污染。新型环保泥浆材料采

用可降解高分子聚合物与天然黏土复配,既能满足护壁要求,又可在施工后通过生物降解或简单化学处理实现无害化;同时,高效泥浆净化设备如板框压滤机、离心分离机的应用,可将废弃泥浆分离为清水、泥饼,泥饼经固化处理后用于道路基层填筑,实现资源循环利用。其次,低能耗、低噪音施工设备的研发与推广减少了施工对周边环境的影响。太阳能供电系统应用于施工现场照明与监测设备,降低能耗。此外,施工过程中的扬尘控制、建筑垃圾分类回收等措施,进一步完善了环保施工体系,使水利工程建设与生态保护协同发展。

3.3 标准化与规范化

标准化与规范化是保障水利钻孔灌注桩施工质量、提升行业整体水平的重要路径。随着水利工程建设规模扩大与技术复杂度提升,统一施工标准与规范迫在眉睫。一方面,国家与行业主管部门不断修订和完善技术标准,对钻孔灌注桩的设计、施工工艺、质量验收等环节制定明确要求。例如,细化不同地质条件下的成孔工艺参数标准,统一钢筋笼焊接、混凝土灌注的质量检验指标,避免因标准模糊导致的质量差异。另一方面,模块化、流程化施工管理模式被广泛应用。通过将施工流程分解为测量放线、钻孔、清孔、钢筋笼安装、混凝土灌注等标准化模块,结合BIM技术进行施工模拟与进度推演,提前发现施工冲突与风险点,优化资源配置。同时,建立施工质量追溯系统,对每道工序的施工人员、设备、材料、检测数据进行电子化存档,实现质量问题的快速溯源与责任界定。

3.4 新材料与新技术的应用

新材料与新技术的创新应用为水利钻孔灌注桩技术注入强劲动力。在材料领域,高性能混凝土的研发显著提升了桩体性能。自密实混凝土凭借高流动性与免振捣

特性,解决了水下灌注时混凝土离析、空洞等问题;纤维增强混凝土通过掺入钢纤维、聚丙烯纤维等,增强桩体抗裂性与韧性,延长使用寿命;纳米改性混凝土则利用纳米材料的微观填充与活性激发作用,提高混凝土的强度与耐久性。在技术层面,旋挖钻孔技术以其高效、低扰动的特点,成为复杂地层成孔的主流工艺,尤其适用于卵石层、砂层等传统工艺难以施工的地质条件;全套管钻孔技术通过在孔壁设置钢套管,有效防止塌孔与缩颈,保障成孔质量;超高压旋喷注浆技术则可在灌注桩周边形成防渗帷幕,增强基础的抗渗性能。此外,3D打印技术在小型试验桩与特殊结构桩中的探索应用,为个性化、定制化桩基础施工提供了新思路。新材料与新技术的持续突破,将不断拓展水利钻孔灌注桩技术的应用边界,满足更高标准的工程建设需求^[3]。

结束语

水利施工钻孔灌注桩技术的应用与发展,关乎水利工程根基稳固与长远效益。通过对其施工关键技术的剖析,以及对智能化、环保化等发展趋势的展望,可见该技术在不断革新中适应工程需求。未来,随着技术创新与标准完善,钻孔灌注桩技术将持续优化施工工艺,提升质量控制水平,为水利工程建设筑牢安全基石,同时在保障生态环境、推动行业高质量发展方面发挥更大价值,成为水利基础设施建设的可靠技术支撑。

参考文献

- [1]黄富民.水利工程钻孔灌注桩施工监理控制措施[J].工程技术研究,2021(17):205-206.
- [2]闻剑.混凝土钻孔灌注桩施工要点及质量控制对策分析[J].中国建筑装饰装修,2022(23):152-154.
- [3]陈祖军,邓边员,许利东.岩溶极发育地质条件下的旋挖灌注桩施工技术[J].建筑施工,2022,44(12):2836-2840.