

市政工程中钻孔灌注桩施工工艺研究

祝迎港

新疆北新国际工程建设有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 830092

摘要：钻孔灌注桩作为市政工程（如桥梁、高架、地铁车站等）中最为核心和常用的基础形式，其施工质量直接决定了上部结构的安全与稳定。本文系统阐述了钻孔灌注桩在市政工程中的完整施工工艺流程，并深入剖析了各关键工序的技术要点与控制参数。文章首先介绍了施工前的准备工作，包括场地处理、测量放线及护筒埋设；其次，重点论述了成孔阶段针对不同地质条件（粘性土、砂层、卵石层等）所采用的冲击钻进、旋挖钻进等主流工法及其泥浆护壁技术；再次，详细解析了水下混凝土浇筑这一核心环节，对导管法施工的初灌量计算、导管埋深控制、混凝土和易性要求等关键技术进行了量化说明；最后，系统梳理了施工过程中常见的质量通病（如塌孔、缩颈、断桩、钢筋笼上浮等），并提出了针对性的预防与处治措施。研究表明，通过精细化的过程控制、严格的材料管理和先进的工艺应用，能够有效保障钻孔灌注桩的成桩质量，为市政基础设施的百年大计奠定坚实基础。

关键词：市政工程；钻孔灌注桩；施工工艺；水下混凝土；质量通病

引言

随着我国城市化进程的加速推进，市政基础设施建设规模空前，对地基基础工程提出了更高的要求。钻孔灌注桩因其单桩承载力高、适应性强（可穿越各类复杂地层）、施工噪音和振动相对较小、对周边环境影响可控等显著优势，已成为市政桥梁、立交高架、地铁车站、大型管廊等工程中不可或缺的基础解决方案。然而，钻孔灌注桩的施工过程具有高度的隐蔽性和不可逆性。从成孔到水下混凝土浇筑，大部分工序均在地下或水下完成，无法进行直观的质量检查。任何一个环节的疏忽或失误，都可能导致诸如塌孔、缩颈、夹泥、断桩等严重质量缺陷，轻则增加工程成本、延误工期，重则危及整个构筑物的结构安全，造成灾难性后果。因此，深入研究并精准掌握钻孔灌注桩的标准化施工工艺，识别并有效防控各环节的质量风险点，是确保市政工程质量与安全的核心课题。本文旨在结合现行规范标准与工程实践经验，对市政工程中钻孔灌注桩的施工工艺进行系统性梳理与深度剖析，为相关从业人员提供一套科学、严谨、可操作的技术指南。

1 钻孔灌注桩施工前的准备工作

充分而周密的施工准备是确保后续工序顺利进行的前提。

1.1 场地准备与三通一平

“三通一平”（水通、电通、路通、场地平整）是所有工程施工的基础。对于钻孔灌注桩而言，场地平整度和承载力尤为关键。施工前必须彻底清除地表障碍物，包括建筑垃圾、树根以及旧有基础等，并对软弱地基进行换

填或压实处理，以形成一个坚实稳定的作业平台。通常，钻机作业平台的地基承载力要求不低于 220kN/m^2 ，这是为了确保重型钻机在长时间、高强度的施工过程中不会发生沉陷或倾斜，从而保证成孔的垂直度。与此同时，还需根据现场实际情况，合理规划泥浆循环系统的布局，设置足够容积的泥浆池用于储存和调配泥浆，以及沉淀池用于分离钻渣，实现泥浆的循环利用，这不仅有助于节约成本，更能有效减少施工对周边环境造成的污染。

1.2 测量定位与护筒埋设

精确的桩位放样和稳固的护筒是保证成孔垂直度和保护孔口的关键。桩位的确定必须严格依据设计图纸和业主提供的高等级控制点，使用全站仪等高精度测量仪器进行放样。桩位中心点需用钢钎精确标定，并在其四周设置四个方向的护桩（或称引桩），这些护桩的作用是在后续施工中，一旦主桩位被破坏或覆盖，仍能通过交叉拉线的方式快速、准确地恢复桩心位置。护筒的埋设则是成孔前至关重要的一步，它通常由4至8毫米厚的钢板卷制而成，其内径应比设计桩径大200至400毫米，以留出足够的操作空间^[1]。护筒顶端应高出地面至少0.3米，并且要高出地下水位1.5至2.0米，以维持孔内的静水压力。其埋置深度在粘性土中不宜小于1.0米，在砂土或松散地层中则不应小于1.5米，必要时甚至需要加深至不透水层以确保稳定。护筒中心与设计桩位中心的偏差必须严格控制，控制在50毫米以内，且其垂直度偏差不得大于1%。埋设完成后，护筒周围必须用粘土分层回填并夯实，确保其牢固、不漏水，为后续的钻孔作业提供一个稳定可靠的孔口保护。

2 成孔施工工艺与技术要点

成孔是钻孔灌注桩施工的核心环节，其质量直接影响后续工序。

2.1 主要成孔方法选择

根据地质勘察报告揭示的地层情况，合理选择钻机类型至关重要。冲击钻进法适用于含有孤石、漂石、硬岩等复杂地层，以及较厚的砂卵石层。该方法利用钻机提升装置带动十字形或梅花形钻头反复冲击，从而破碎坚硬的岩土。其优势在于设备简单、成本低廉，并且能够有效穿透各种坚硬障碍物，但缺点也十分明显，即成孔效率较低，产生的泥浆含砂率高，且对孔壁的扰动较大，容易引发塌孔风险。相比之下，旋挖钻进法在市政工程中更为普遍，它广泛应用于粘性土、粉土、砂土乃至软岩等地层。旋挖钻机通过钻杆驱动带有斗齿的钻头旋转切削土体，并将渣土直接装入斗内提出孔外。这种方法成孔速度快、效率高，对孔壁的扰动小，有利于保持孔壁稳定，并且由于其干作业或少泥浆的特点，更加环保。然而，旋挖钻机对硬岩和孤石层的适应性较差，且设备购置和租赁成本较高，因此在选择时需综合考虑地质条件、工期要求和经济性等因素。

2.2 泥浆护壁技术

泥浆被誉为钻孔灌注桩施工的“血液”，其性能好坏直接关系到孔壁的稳定。泥浆的主要作用包括悬浮钻渣、冷却钻具、润滑钻头，但最为关键的是在孔壁形成一层致密的泥皮，这层泥皮能够有效隔离孔内外的水压差，防止孔壁土体因失稳而坍塌。优质的泥浆需要具备特定的物理化学性能指标。其比重一般应控制在1.10至1.30g/cm³之间，地层越不稳定，例如在流沙层中施工，所需的泥浆比重就越大。泥浆的粘度通常维持在18至25秒（用马氏漏斗测定），粘度高有利于悬浮钻渣，但过高的粘度会增加泵送阻力，影响施工效率^[2]。此外，泥浆的含砂率应严格控制在4%以下，过高的含砂率不仅会加速钻具的磨损，还会降低泥浆的整体性能。胶体率则应大于95%，以反映泥浆的稳定性。在整个施工过程中，必须安排专人定期检测泥浆的各项性能指标，并根据地层的变化及时调整泥浆的配比，尤其是在清孔阶段，泥浆比重应降至1.15至1.20g/cm³，含砂率小于2%，以确保最终的沉渣厚度满足规范要求，为水下混凝土浇筑创造良好条件。

3 水下混凝土浇筑——导管法施工详解

水下混凝土浇筑是钻孔灌注桩施工成败的“临门一脚”，必须严格遵循导管法工艺。

3.1 导管系统准备

导管系统是水下混凝土浇筑的生命线，其可靠性直

接决定了成桩质量。导管通常采用内径为200至300毫米的无缝钢管或高质量焊接卷管。对于市政工程中常见的直径600至1200毫米的桩，φ250毫米的导管是标准配置；而对于更大直径的桩，则需选用φ300毫米的导管以保证混凝土的顺利流通。在正式使用前，整套导管必须进行严格的水密承压试验，试验压力应设定为孔底静水压力的1.5倍，通过向导管内注水加压，仔细检查每一个接头处是否存在渗漏现象，只有完全密封的导管才能投入施工，这是防止浇筑过程中泥浆混入混凝土的首要保障。

3.2 关键施工参数控制

3.2.1 初灌量计算

这是确保首批混凝土能将导管底部一次性埋入混凝土面以下至少0.8m的关键。初灌量V可按以下公式估算：

$$V \geq \pi d^2 / 4 \times (H_1 + H_2) + \pi D^2 / 4 \times h_1$$

在这个公式中：d为导管内径；D为桩孔直径；H1为导管底端至孔底的距离（通常取0.3~0.5m）；H2为导管初次埋深（≥0.8m）；h1为桩孔内混凝土达到H2高度时，导管内混凝土柱与管外泥浆柱压力平衡所需的高度。

3.2.2 混凝土性能要求

（1）强度等级：应符合设计要求，通常不低于C25。（2）和易性：必须具有良好的流动性、保水性和粘聚性。坍落度应控制在180~220mm。（3）初凝时间：应大于整根桩的混凝土浇筑时间，通常要求不小于6小时。

3.2.3 浇筑过程控制

（1）连续浇筑：一旦开始浇筑，必须连续进行，不得中断，以防形成施工冷缝。（2）导管埋深：在整个浇筑过程中，导管底端必须始终埋入混凝土面以下2~6m。埋深过浅易导致泥浆混入混凝土（形成夹泥），埋深过深则会增大混凝土流动阻力，甚至导致堵管。（3）拆管操作：随着混凝土面的上升，应及时拆除多余导管。每次拆管前，需精确测量混凝土面深度，计算出当前导管埋深，确保拆管后埋深仍在安全范围内^[3]。（4）桩顶超灌：为确保桩顶混凝土质量（剔除浮浆后），桩顶标高应比设计标高高出0.5~1.0m。

4 施工常见质量通病及防治措施

尽管工艺成熟，但钻孔灌注桩施工仍存在诸多质量隐患，需严加防范。

4.1 孔壁坍塌

孔壁坍塌是钻孔灌注桩施工中最危险的事故之一，其典型征兆包括孔内水位突然下降、孔口冒出细密水泡以及出渣量异常增多。这种情况的发生，往往是由于泥浆性能不佳，如比重或粘度过低，无法在孔壁形成有效的支撑；或是护筒埋设不当，未能起到应有的护壁作用；

在松散的砂层或流沙层中施工时,若未采取特殊措施,也极易发生塌孔;此外,孔内外水头差过大,导致孔壁土体失稳,同样是常见诱因。为有效防治塌孔,必须从源头抓起,选用优质的膨润土来配制高性能泥浆,并在松散地层中适当放慢钻进速度,减少对孔壁的扰动。同时,必须确保孔内水头始终高于地下水位1.5至2.0米,以维持孔壁的稳定。在条件允许的情况下,加深护筒的埋设深度,使其穿透不稳定的浅层土体,也是行之有效的预防手段。

4.2 缩颈

缩颈是指桩孔局部直径小于设计值的现象,这会直接削弱桩的承载能力。缩颈问题多发生在塑性较强的土层中,例如淤泥质粘土,这类土体在钻孔卸荷后,会因自身的侧向压力而向孔内挤压,导致孔径缩小。此外,钻头在长期使用过程中出现磨损,其外径变小,也会造成成孔直径不足。针对这一问题,施工中可采用上下反复扫孔的方法,利用钻头对已形成的孔壁进行扩孔修正^[4]。同时,必须建立严格的钻具检查制度,定期对钻头的尺寸进行测量,一旦发现磨损超标,应立即进行修复或更换,从源头上杜绝因钻具问题导致的缩颈。

4.3 断桩

断桩是钻孔灌注桩最严重的质量缺陷之一,表现为桩身混凝土不连续,内部存在夹泥或空洞,这将使桩丧失绝大部分承载力。断桩的根本原因通常在于水下混凝土浇筑过程的失控。例如,导管埋深不足,使得泥浆在压力作用下进入导管,与混凝土混合;或者混凝土供应中断时间过长,导致先浇筑的混凝土已经初凝,与后浇筑的混凝土无法形成整体;又或者,导管在浇筑过程中发生堵塞,操作人员强行拔出导管,造成泥浆涌入。为了防止断桩,必须严格执行导管埋深的控制标准,确保其始终处于安全范围。同时,要与商品混凝土供应商紧密协调,确保混凝土的连续、稳定供应。在浇筑前,必须对导管的密封性进行彻底检查。一旦发生堵管,应在混凝土初凝前争分夺秒地采取疏通措施,若无法及时解决,则只能按废桩处理,重新施工,绝不能抱有侥幸心理。

4.4 钢筋笼上浮

在混凝土浇筑过程中,钢筋笼被上升的混凝土顶托而发生上浮,会导致桩身的有效锚固长度不足,影响桩与承台的连接。这种现象通常发生在混凝土浇筑速度过快,尤其是在混凝土面刚刚淹没钢筋笼底部时,巨大的上冲力会将笼体抬起。另一个重要原因是钢筋笼在孔口未得到有效固定。为防止钢筋笼上浮,当混凝土面接近钢筋笼底部时,应有意识地适当放慢浇筑速度,减小混凝土的上冲力。更为根本的措施是,在钢筋笼制作完成后,将其顶部通过型钢或钢筋牢固地焊接在护筒或地面预设的固定支架上,形成刚性约束,使其无法产生任何上浮位移。

5 结语

钻孔灌注桩作为市政工程的基石,其施工是一项集地质、机械、材料、流体力学于一体的系统工程。从前期的场地准备、精准测量,到成孔阶段的泥浆护壁、高效钻进,再到决定成败的水下混凝土浇筑,每一个环节都环环相扣,不容有失。本文通过对施工全流程的梳理,特别是对导管法浇筑的关键参数(如初灌量、导管埋深、混凝土坍落度)进行量化分析,并对塌孔、断桩等主要质量通病提出了具体的防治对策,旨在为工程实践提供清晰的技术指引。未来,随着智能建造技术的发展,如基于BIM的施工模拟、物联网传感器对孔壁稳定性的实时监测、以及自动化混凝土浇筑系统的应用,将进一步提升钻孔灌注桩施工的精细化和智能化水平,为打造安全、耐久、高质量的市政基础设施提供更强有力的技术支撑。

参考文献

- [1]米亚炜.市政工程钻孔灌注桩施工技术[J].散装水泥,2026,(03):32-34.
- [2]张金涛,郭丰杰,高合川.市政工程钻孔灌注桩施工质量事故预防措施研究[J].新城镇科技,2025,34(02):125-127.
- [3]项德望.市政工程钻孔灌注桩施工工艺优化研究[J].现代工程科技,2025,4(07):109-112.
- [4]王剑勇.试论市政工程中钻孔灌注桩施工工艺的要点[J].建材发展导向,2023,21(04):109-111.