

钻孔灌注桩施工技术在市政道桥工程中的应用研究

柳涛

230304*****4619

摘要: 随着我国城市化进程加速,市政道桥工程建设规模扩大,对基础工程要求提高。钻孔灌注桩技术因承载力高、适应性强等优点,成为市政道桥工程尤其是软土地基等条件下深基础的首选。本文系统研究其在市政道桥工程中的核心应用,先阐述工艺特点,再分析其相较于其他桩基的优势,接着探讨成孔关键因素泥浆护壁的性能要求,包括稳定性等,然后从前期准备等关键环节论述施工实践策略与控制要点。研究表明,通过科学设计、把控泥浆性能与精细化管理,该技术能保障市政道桥基础工程质量、安全与耐久性,推动城市基础设施建设高质量发展。

关键词: 钻孔灌注桩;市政道桥工程;泥浆护壁;旋挖成孔;施工技术;质量控制

DOI: 10.64216/3080-1508.26.03.031

引言

市政道路与桥梁是城市运行与发展的动脉,其建设质量关乎城市交通、安全与发展。基础工程决定道桥上部结构安全与寿命。城市道桥建设面临地质复杂、空间受限等挑战,传统打入式桩基施工对周边环境影响大,难以满足现代建设需求。钻孔灌注桩技术属非挤土或少量挤土桩,通过机械钻孔等成桩,施工无振动、低噪声,能穿越复杂地层,桩径和桩长设计灵活,承载力大,适用于大型道桥基础。近年来,随着设备普及和工艺完善,其在市政道桥工程应用广泛,涵盖桥墩基础、桩基支撑及道路软基处理等。不过,该技术是隐蔽工程,工序多且关联,依赖泥浆护壁稳定性和水下混凝土灌注连续性,任一环节疏漏都可能引发质量缺陷,影响道桥安全。因此,深入理解钻孔灌注桩施工技术特点、优势,系统研究关键工艺及实践策略,有重要意义。

1 钻孔灌注桩施工技术特点

钻孔灌注桩施工技术是一套完整的、环环相扣的工艺体系,其核心特点体现在以下几个方面。首先,是工艺的隐蔽性与依赖性。桩体主要在地下或水下形成,成孔质量、钢筋笼对接、混凝土灌注等关键工序均无法直观检查,高度依赖于施工前的精确勘测、施工中的实时监控和严格的过程记录。其次,是成孔方式的多样性。针对不同的地质条件和环境要求,可采用旋挖钻、回旋钻、冲击钻、冲抓锥等多种成孔机械。其中,旋挖钻机以其成孔速度快、效率高、自动化程度高、泥浆用量相对少、对地层扰动小、适合城市施工等特点,在市政道桥工程中应用尤为广泛。它通过钻斗的旋转切削、提升

卸土,循环作业形成桩孔。第三,是护壁形式的独特性。除了在稳定地层可采用干作业法,对于地下水位以下的不稳定地层,普遍采用泥浆护壁。泥浆在孔内形成液柱压力,平衡地下水和土压力,并在孔壁形成一层低透水性的致密泥皮,有效防止孔壁坍塌和渗水,这是保证成孔安全与质量的核心技术措施。第四,是成桩工序的连续性与不可逆性。从清孔后下放钢筋笼到灌注混凝土,要求各环节紧密衔接,特别是混凝土灌注必须连续、一次性完成,中断易造成断桩或桩身质量不均。一旦混凝土初凝,缺陷难以补救。最后,该技术表现出较强的地质与环境适应性。通过调整钻头类型、泥浆参数和护壁方式,能够应对从软土、砂卵石到软岩等多种地层;同时其低振动、低噪音的特点,使其能在建筑物旁、交通繁忙区域等敏感环境施工,符合市政工程环保要求。

2 钻孔灌注桩施工技术的应用优势

在市政道桥工程领域,钻孔灌注桩相较于其他桩基形式,展现出多方面的综合优势。在结构性能方面,其优势最为突出。钻孔灌注桩可以设计很大的桩径和超深桩长,单桩承载力极高,能够满足大型桥梁墩台对巨大竖向荷载和水平推力的承受需求。桩端可以嵌入中风化或微风化基岩,成为端承桩或摩擦端承桩,沉降量小且稳定,特别适用于对沉降敏感的大跨度桥梁和城市高架桥。在环境友好性方面,其施工过程无强烈振动和冲击,避免了因挤土效应导致的邻近道路、管线及建筑物的隆起、位移或损坏,也极大降低了施工噪音对市民生活和工作的干扰,体现了绿色施工理念,有利于工程的社会许可与和谐推进。在地质适应性方面,该技术几乎能够

穿越任何地层，无论是深厚的软土地基、流动的砂层、复杂的卵石层，还是存在地下障碍物的区域，通过选择合适的钻机和工艺，均可有效成孔，解决了其他桩型在复杂地质条件下施工困难的问题。在施工灵活性方面，桩径、桩长可根据具体荷载和地质勘探结果灵活调整，布桩方案受限制小。旋挖钻机等设备移动相对灵活，在有限的施工场地内也能高效作业。此外，随着技术发展，一些特殊工艺如后注浆技术，能显著提高桩侧阻力和桩端承载力，进一步优化桩基设计，节约工程成本。

3 钻孔灌注桩中泥浆的性能要求

3.1 稳定性要求

稳定性是泥浆性能的根本，主要指其抵抗固相颗粒沉降和液相（水）分离的能力。良好的稳定性确保泥浆在静置或循环过程中保持均匀，避免在孔内形成沉淀导致孔底淤积过厚，或上部泥浆比重过轻而失去护壁能力。这要求泥浆中的黏土颗粒高度分散，并形成稳定的胶体体系。可通过添加适量的纯碱（ Na_2CO_3 ）等分散剂来提高黏土颗粒的 ζ 电位，增强其水化膜，从而提高稳定性。

3.2 比重要求

泥浆比重是产生液柱压力以平衡孔壁土压力和水压力、防止坍孔的关键参数。比重过小，液柱压力不足，易导致孔壁失稳，尤其在穿越松散砂层或承压水层时风险极高；比重过大，则易在孔壁形成过厚泥皮，影响桩侧摩阻力，同时增加清孔难度，降低混凝土灌注效率，甚至可能压裂较脆弱的地层。通常，在一般地层中，泥浆比重宜控制在 1.05~1.20 之间；在易塌地层或地下水位较高时，可适当提高至 1.20~1.30，但需谨慎控制。应使用比重计定时检测，及时调整^[1]。

3.3 黏度性能要求

黏度反映了泥浆流动时的内部摩擦阻力，直接影响其携渣能力。合适的黏度能将钻孔过程中切削下来的岩土碎屑悬浮起来，并随泥浆循环带出孔外，保持孔底清洁。黏度过低，携渣能力差，钻渣沉底，造成重复破碎，影响钻进效率，并易引发埋钻事故；黏度过高，则泥浆泵送困难，流动阻力大，清孔不易彻底，且会在钢筋笼上附着厚泥皮，影响混凝土与钢筋的握裹力。一般地层泥浆黏度（采用漏斗黏度计测量）宜为 18~22s，松散易塌地层可提高至 22~28s。

3.4 触变性要求

触变性是指泥浆在静止时呈凝胶状态，搅拌时又恢复流动状态的特性。这一性能至关重要。在施工间歇或灌注混凝土前，泥浆处于静止状态，其凝胶强度有助于悬浮孔内钻渣，防止快速沉淀淤积孔底，并为孔壁提供额外的侧向支撑力，增强护壁效果。当重新开始循环或混凝土开始置换时，泥浆又能顺利流动。良好的触变性通过使用优质膨润土和添加适量增粘剂（如 CMC）来获得。

除上述核心指标外，泥浆的 pH 值、含砂率也需要定期监测与调控。在实际工程中，应根据地质勘查报告，针对不同地层段预先制定泥浆性能参数控制表，并在施工中动态调整，以确保成孔全过程的安全与高效。

4 钻孔灌注桩施工技术实践策略

4.1 前期准备阶段工作

充分的前期准备是施工顺利进行的基石。首先，必须进行详细的现场勘查与场地平整，查明施工区域的地下管线、构筑物分布，并予以迁移或保护；清除地表杂物，压实地面，确保施工机械行走和作业面的稳定。其次，根据设计图纸，使用全站仪等高精度仪器进行桩位精确放样，并设置坚固、不易被破坏的护桩，以便随时校核孔位^[2]。再次，根据地质条件、桩径桩深及环境要求，科学选择钻机型号。对于市政工程，旋挖钻机因其高效环保成为首选，但在坚硬岩层或卵石层，可能需要配合冲击钻头。同时，规划好泥浆循环系统，确保泥浆的制备、储存、净化及回收利用，这对城市中减少泥浆外运和环境污染尤为重要。最后，必须对所有进场设备进行检查与调试，备足易损件，确保其处于良好工作状态。

4.2 埋设护筒

护筒起着定位导向、保护孔口、防止塌方、维持泥浆液面高度的重要作用。市政道桥工程中多采用钢护筒。护筒中心应与桩位中心重合，其偏差不得大于 50mm。护筒的埋设应牢固、密实。在旱地或浅水区，可采用挖埋法，护筒周围用黏土分层夯实；护筒顶端宜高出地面 0.3m 以上，以防止地表水、杂物入孔。护筒底部应埋入稳定土层，深度不宜小于 1.0m。护筒内径应大于设计桩径 100-150mm。埋设后，应复核其平面位置和垂直度^[3]。

4.3 制备泥浆

根据地层情况,选用优质膨润土或符合要求的黏土,按照试验确定的配合比,在泥浆搅拌池中充分搅拌均匀制成新鲜泥浆。对于旋挖钻机,可采用原土造浆,但当地层土质不符合要求时,必须使用膨润土制备。泥浆制备后,应静置24小时以上,使其充分水化后方可使用。在钻进过程中,要定时检测孔内泥浆的性能指标,根据检测结果和不同地层的变化,及时向孔内补充新浆或添加处理剂(如增粘剂、分散剂),始终保持泥浆性能满足护壁和携渣要求。泥浆循环过程中,应充分利用沉淀池进行除砂净化,降低含砂率。

4.4 旋挖钻孔灌注桩成孔

这是核心工序。钻机就位后,调整桅杆垂直度,使钻头中心对准护筒中心。开钻初期宜采用低速慢进,形成导向孔段。钻进过程中,应密切观察钻机运行情况、仪表参数及返渣性状,判断地层变化。旋挖钻采用钻斗切削取土,提钻卸土,循环作业^[4]。每钻进一定深度(如2-3米)或土层变化处,应检查孔深、垂直度,并捞取渣样,与地勘报告核对,做好记录。钻进至设计标高后,不得立即停钻,应空转数圈,将孔底虚土尽可能清除。成孔后,进行第一次清孔,主要通过钻机空转和泥浆循环置换,降低孔底沉渣厚度。清孔后,孔底沉渣厚度应符合规范要求。随后,应尽快进行后续工序,防止搁置时间过长导致孔壁失稳或沉渣增厚。

4.5 安装钢筋笼

钢筋笼宜在加工场集中分段制作,确保主筋间距、箍筋加密区、保护层厚度等符合设计。运输和吊装过程要防止变形。下放时,应对准孔位,垂直缓慢下放。多节钢筋笼需在孔口进行焊接或机械连接,连接质量必须满足规范,确保竖向整体性。下放到位后,应用吊筋或型钢将钢筋笼顶部牢固悬挂在护筒或孔口平台上,防止其在灌注混凝土时上浮或下沉。

4.6 安装导管

导管是混凝土灌注的通道,使用前必须进行水密承压和接头抗拉试验,确保其密闭性和强度。导管内壁应光滑,直径一般为200-300mm。导管安装应垂直,底口距孔底300-500mm。全部导管在孔口连接处必须紧固,并设置密封圈防止漏水。

4.7 灌注水下混凝土

这是最终成桩的决定性环节。混凝土必须具备良好的和易性、流动性,坍落度宜为180-220mm,初凝时间应满足整桩连续灌注要求。灌注前,需进行第二次清孔,利用导管和泥浆泵置换孔内泥浆,进一步减少沉渣,确保沉渣厚度达标,并调整泥浆性能至适宜灌注的状态^[5]。清孔合格后,应迅速组织灌注。首灌是关键:导管底部需有足够的混凝土,以形成对导管口的埋压,防止泥浆回流。灌注应连续进行,严禁中断。在灌注过程中,应设专人测量导管埋深和混凝土面上升高度,及时绘制灌注曲线,指导导管的拆卸。导管埋深宜控制在2-6m,埋深过浅易拔脱造成断桩,过深易导致混凝土上升困难和导管堵塞。灌注的桩顶标高应比设计标高高出0.5-1.0m,以保证桩头混凝土强度(此部分超灌混凝土在后续承台施工前需凿除)。灌注完成后,应缓慢拔出导管,设备撤离。

5 结束语

钻孔灌注桩施工技术以其承载力高、适应性强、环境友好等突出优势,在市政道桥工程的基础建设中扮演着不可或缺的角色。本文的研究表明,该技术的成功应用是一项系统工程,其核心不仅在于先进的机械设备,更在于对施工全过程,尤其是泥浆护壁性能和关键工序的精细化管理。泥浆作为“工程的血液”,其稳定性、比重、黏度和触变性必须根据地质条件进行科学配制与动态调控,这是保障成孔安全与质量的前提。从精确的施工准备、牢固的护筒埋设,到高效的旋挖成孔与清孔、规范的钢筋笼与导管安装,直至连续、可控的水下混凝土灌注,每一个环节都紧密相连,任何疏忽都可能转化为桩基的质量缺陷,进而影响整个道桥结构的安全与耐久。

参考文献

- [1]王云. 钻孔灌注桩施工技术在市政道桥工程中的应用研究[J]. 中华建设, 2025, (12): 159-161.
- [2]程志辉. 钻孔灌注桩施工技术在市政道桥工程中的实践研究[J]. 砖瓦, 2025, (10): 91-93+97.
- [3]陆海涛. 钻孔灌注桩施工技术在市政道桥工程中的实践研究[J]. 四川建材, 2024, 50(11): 187-189.
- [4]孙嘉华. 冲(钻)孔灌注桩施工技术在市政工程中的应用[J]. 江苏建材, 2022, (06): 77-79.
- [5]杨普军. 钻孔灌注桩施工技术在市政道桥工程中的应用[J]. 四川建材, 2022, 48(01): 129-130.