

水利工程中灌注桩施工技术及其质量控制策略

潘一商

广东省水利水电第三工程局有限公司

摘要：水利工程建筑作为保障农业生产、城市供水、防洪减灾和生态保护的重要基础设施之一，其施工质量对工程的整体效益具有至关重要的影响。在水利工程的建设过程中，灌注桩作为一种常见的地基处理和基础加固手段，因其适应性强、承载能力高和施工简便等优点，得到了广泛应用。但是灌注桩施工过程中技术复杂，质量控制难度大，稍有不慎就可能引发严重的工程质量问题。因此，研究灌注桩施工技术及其质量控制工艺，对提高水利工程的施工质量和使用寿命具有重要意义。

关键词：水利工程；钻孔灌注桩；施工技术；质量控制

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.24.072

引言：随着我国经济的飞速发展和城市化进程的加快，水利工程的建设需求不断增加，灌注桩作为地基加固和基础处理的重要手段，广泛应用于大坝、堤防、港口、桥梁等水利工程中。灌注桩施工技术的发展，经历了从传统的机械钻孔、人工灌注，到现代化的机械化施工、自动化监测的过程。虽然施工技术不断进步，但由于地质条件复杂、施工环境多变等因素，灌注桩施工过程中仍面临诸多挑战。在实际工程中，灌注桩施工常出现的问题主要包括桩身断裂、桩基倾斜、混凝土强度不足等，这些问题不仅影响工程质量，还可能导致严重的安全隐患。为了确保灌注桩施工的质量，必须从现场施工技术和质量控制两个要素入手，通过科学合理的施工方案、严格的施工管理和有效的质量检测手段，确保灌注桩施工的顺利进行和工程质量的可靠性。

一、钻孔灌注桩施工技术优势

（一）提高土体结构的稳定性

水利工程施工中，保持土体结构稳定性的三大要素是抗裂性强、密实度高和渗透性好，但是由于施工现场地质情况不同，对应的压浆压力值也不同，导致众多施工方法不能有效保证压力调节的准确性。但是钻孔灌注桩施工技术能够有效弥补比不足，充分借助灌注桩的特点，提高地基的稳定性，降低外界因素对施工造成的影响，保证土体结构的稳定性。

（二）噪声较少

钻孔灌注桩的施工一般都是在地下进行的，在整个施工期间只有钻孔工序会产生一些噪声，并且由于钻孔的时间相对较短，对于周围环境的干扰度极低，尤其是与沉入桩的锤击法相比较，在噪声方面更具有极大的

优势。同时，该技术在施工期间还能降低噪声对施工人员的影响，符合我国绿色环保的施工原则，提升承建单位的市场竞争力。

（三）节约施工成本

钻孔灌注桩的施工主要依赖于机械化操作，钢筋笼和混凝土材料可以进行集中的加工和配送，操作方式简单。与其他技术相比，这种方法不仅可以缩短施工时间和降低成本，还具有很高的安全系数。此外，这项技术具有很高的适用性，能够适应多种不同的地基条件。

二、灌注桩施工中的关键技术

（一）钻孔工艺

在钻孔灌注桩的施工过程中，钻孔工艺是关键环节之一，其质量直接影响到桩基的整体性能。首先，钻孔设备的选择应根据地质条件和施工要求进行优化，常用的设备包括回旋钻机、冲击钻机和潜孔钻机等。这些设备的选择要考虑钻进速度、钻孔直径以及施工现场的空间限制等因素。钻孔过程中，钻头的性能和使用寿命对施工效率和质量有直接影响。因此，应选用耐磨性好、切削力强的钻头，钻孔直径通常在600mm至1500mm之间，具体尺寸依工程设计要求而定。

在钻孔过程中，需要保持孔壁的稳定性，避免塌孔和缩孔现象的发生。因此，泥浆护壁法被广泛应用，通过泥浆压力在孔壁形成稳定的泥皮，防止地下水和土壤的渗入。泥浆的性能参数，如黏度、密度和含砂量等，应严格控制，泥浆黏度一般控制在18至22秒（使用标准黏度计测量），密度在1.1至1.2g/cm³之间。钻孔深度需满足设计要求，通常在30米至60米之间，对于特殊地质条件或高层建筑的深基础，深度可能更大。

钻孔过程中应定期测量孔径和垂直度，确保钻孔满足设计规范，垂直度偏差一般控制在1%以内，孔径误差不应超过设计直径的5%。当钻遇地下障碍物或不良地质层时，需及时调整钻进参数或更换钻头，以保证钻进质量和效率。为确保钻孔质量，钻孔过程中还应进行连续记录，记录内容包括钻进速度、泥浆参数、钻进深度和地质变化等。通过科学合理的钻孔工艺，确保钻孔灌注桩施工的顺利进行和工程质量的可靠性。

（二）桩孔清理技术

在钻孔灌注桩的施工中，桩孔清理技术是保证桩基质量的重要环节之一。清孔的主要目的是去除孔底和孔壁的泥浆、沉渣以及松散土壤，以确保混凝土能够充分与地基土接触，提高桩基承载力和稳定性。清孔通常在钻孔完成后立即进行，以防止孔底沉渣再次积聚。常用

的清孔方法包括空气提升法、泥浆泵清孔法和水泵清孔法等。空气提升法利用空气压缩机产生的高压气流，将沉渣从孔底吹出，适用于沉渣较少的情况；泥浆泵清孔法通过泥浆泵抽取孔底的沉渣和泥浆，适用于沉渣较多且孔深较大的情况；水泵清孔法则利用高压水流冲刷孔底和孔壁，将沉渣和泥浆带出孔外。

清孔过程中需要密切监测清孔效果，以确保孔底和孔壁的清洁度达到规范要求。清孔的有效性通常通过检测孔底沉渣厚度来判断，沉渣厚度一般控制在50毫米以内。对于特殊地质条件，如软土地基或富水地层，清孔过程中还需采取额外的稳定措施，以防止孔壁坍塌。清孔泥浆的性能也是关键因素，泥浆应保持适当的黏度和密度，以便在清孔过程中提供足够的悬浮力和稳定性。泥浆黏度通常控制在18至22秒（标准黏度计测量），密度在1.1至1.2g/cm³之间。清孔完成后，应进行孔底沉渣检测，合格后方可进行下一步的钢筋笼安装和混凝土灌注。通过科学合理的清孔技术和严格的质量控制措施，可以有效确保钻孔灌注桩的施工质量，提升桩基的整体性能和使用寿命。

（三）灌注工艺

在钻孔灌注桩施工中，灌注工艺是保证桩基质量的核心环节，其质量直接影响到桩基的整体承载力和耐久性。灌注工艺的关键是确保混凝土能够均匀、连续地填充桩孔，并与孔壁和钢筋笼紧密结合。通常采用导管法进行混凝土灌注，导管需具备足够的强度和刚度，内径一般在200至300毫米之间，确保混凝土流动顺畅。导管的长度需根据桩孔深度进行调整，导管底端应始终保持在混凝土面以下，以防止混凝土与泥浆接触造成离析。

混凝土的配合比设计应满足施工要求，确保其具有良好的流动性和稳定性。一般情况下，混凝土坍落度应控制在180至220毫米之间，以保证其在导管内流动顺畅且能充分填充桩孔。为防止混凝土离析和沉降，在灌注过程中需保持连续灌注，避免间断。在灌注初期，混凝土应以较低的速度注入，以防止导管底部泥浆压力过高导致泥浆上浮，待导管底部完全被混凝土覆盖后，可适当提高灌注速度。

灌注过程中需进行实时监控，确保导管提升高度和灌注速度的协调，以避免出现混凝土断层或夹泥现象。每次提升导管的高度一般控制在1至2米，导管底端应始终埋入混凝土面以下1至2米。灌注完成后，需对灌注质量进行检查，包括检查混凝土的密实度和均匀性，确保无夹泥、离析和分层等缺陷。通过科学的灌注工艺和严格的质量控制，保证钻孔灌注桩的施工质量，确保桩基具有良好的承载力和耐久性。

（四）钢筋笼安装技术

钢筋笼安装技术在灌注桩施工中起着至关重要的作用，直接影响桩基的承载力和耐久性。施工前应详

细审核设计图纸，确保钢筋笼的尺寸、形状和钢筋规格符合设计要求。钢筋笼制作时，通常采用高强度的HRB400或HRB500钢筋，直径应满足设计规范，常见的主筋直径为16~32mm，箍筋直径为8~12mm，间距通常为100~200mm。钢筋的连接可以采用绑扎、焊接或机械连接等方式，确保连接点的强度和稳定性。为了防止钢筋笼在安装过程中变形，需在制作过程中设置临时固定支撑，安装前应对钢筋笼进行全面检查，保证无损伤、无污染，符合质量标准。

钢筋笼下放过程中应注意保持其垂直度和平稳性，通常采用吊机或起重设备进行操作。为保证钢筋笼不发生偏移和变形，需要设置导向装置和护筒，确保钢筋笼沿钻孔中心轴线准确下放。钢筋笼的保护层厚度是施工中的关键参数，一般要求保护层厚度为50~75mm，采用塑料垫块或水泥砂浆垫块来确保这一厚度，从而保证钢筋不直接接触土壤，避免腐蚀。钢筋笼下放至设计标高后，应立即进行固定，确保其位置和标高的准确性，并对其垂直度进行复核，通常允许的垂直度偏差不超过1%。

钢筋笼安装完毕后，需进行一次全面检查，确保钢筋笼的连接点、箍筋间距和保护层厚度符合设计要求，并在浇筑混凝土前再次检查钢筋笼的标高和垂直度。通过严格控制钢筋笼的制作、运输、安装和检查各环节，确保钢筋笼在灌注桩施工中的质量，从而提高桩基的承载力和耐久性，满足工程设计和使用寿命要求。

（五）混凝土灌注技术

混凝土灌注技术在灌注桩施工中起着关键作用，直接影响桩基的强度和耐久性。混凝土的选择应根据工程要求，通常使用强度等级为C30或以上的混凝土，以确保其具有足够的抗压强度和耐久性。施工前，应充分准备搅拌设备和运输设备，确保混凝土能够连续、均匀地灌注，避免出现断层或冷缝。混凝土的搅拌应严格按照配合比进行，确保水泥、砂、石子和水的比例科学合理，搅拌均匀，以保证混凝土的工作性和性能。混凝土的坍落度一般控制在180~220mm，以保证其在灌注过程中具有良好的流动性和填充性。

灌注过程中，应采用导管法进行，以避免混凝土直接自由下落导致离析和孔洞。导管的直径一般为150~250mm，根据桩径和混凝土浇筑量确定。导管的下端应始终埋入已灌混凝土中1~2米，以防止混凝土离析。灌注时，应保持连续灌注，不间断地供应混凝土，以避免形成施工冷缝。灌注速度应适中，一般控制在2~4米/小时，确保混凝土能够充分振捣密实。振捣是保证混凝土质量的关键环节，通常采用机械振捣，振捣器应在导管周围均匀振捣，避免出现空隙和蜂窝状结构。

混凝土灌注过程中，还应随时监控混凝土的质量，

包括坍落度、温度和含气量等参数，确保其符合设计要求。灌注完成后，应及时进行养护，通常采用覆盖塑料薄膜或喷洒养护剂的方法，保持混凝土表面湿润，防止其早期失水开裂。养护时间一般不少于7天，以确保混凝土达到设计强度。通过严格控制混凝土的配制、灌注和养护过程，可以显著提高桩基的质量和耐久性，确保其满足工程的使用要求和设计寿命。

三、钻孔灌注桩施工的质量控制工艺

(一) 施工前质量控制

在水利工程中灌注桩施工前，质量控制至关重要，这不仅关系到整个工程的顺利进行，更直接影响到工程的安全性与耐久性。施工前的质量控制主要包括材料和设备两方面的控制。首先，材料的质量控制是基础，要确保所用的水泥、钢筋、砂石料等原材料符合国家或行业的相关标准，并具有出厂合格证书。水泥应选择强度等级适宜、安定性良好的产品，并在使用前进行复检；钢筋应进行抽样检验，确保其机械性能和化学成分满足设计要求；砂石料应符合颗粒级配和洁净度的要求，避免杂质过多影响混凝土性能。此外，混凝土的配合比设计应通过实验室试验确定，确保其具有良好的工作性、强度和耐久性。

施工设备的质量控制至关重要，应确保钻机、吊机、混凝土泵车等主要设备性能稳定、运行良好，并定期进行维护和保养。施工设备的选型应根据施工现场的地质条件和桩基设计要求进行，确保其能够满足施工技术标准和质量要求。在设备进场前，应对设备进行详细检查，确认其状态良好，并对操作人员进行专项培训，确保其熟练掌握设备操作要点和安全操作规程。

通过对材料和设备的严格质量控制，能够有效防止因材料不合格或设备故障引发的施工质量问题，确保灌注桩施工顺利进行，为后续施工环节奠定坚实基础。同时，这种全面、细致的质量控制策略还能够提升工程整体质量和安全性，延长工程使用寿命，降低后期维护成本，为水利工程的长期效益提供保障。

(二) 施工过程质量控制

在水利工程灌注桩施工过程中，质量控制至关重要，需要贯穿于每一个施工环节，以确保桩基的整体质量和安全性。钻孔过程中的质量控制尤为关键，必须根据地质条件和设计要求选择合适的钻孔方法，并在钻孔过程中严格监控钻进参数，如钻速、钻压、泥浆比重等，防止塌孔、偏孔等问题的发生。钢筋笼的制作和安装过程中，要确保钢筋的尺寸、数量和位置符合设计要求，钢筋笼制作过程中要注意焊接质量和绑扎牢固，防止钢筋笼在吊装和下放过程中变形或位置偏移。混凝土灌注过程的质量控制同样重要，需采用连续、均匀的灌注方式，防止混凝土离析和不均匀现象的发生，确保桩身密实、均匀。灌注过程中应保持混凝土的流动性和可

操作性，必要时进行适当的振捣和二次灌注，确保混凝土填充密实。同时，施工过程中需进行实时监测和记录，包括泥浆比重、混凝土坍落度、灌注速度等参数，通过及时分析和调整，确保各项工艺参数处于最佳状态，从而保证灌注桩的施工质量。整体而言，严格的施工过程质量控制能够有效预防施工缺陷，确保灌注桩的结构性能和使用寿命，为水利工程的安全和稳定奠定坚实基础。

(三) 施工后质量检验与验收

在水利工程灌注桩施工完成后，质量检验与验收是确保桩基质量的重要环节。施工后需进行多项检测，以验证桩身的完整性和承载能力。超声波检测是常用的方法，通过检测桩身内部是否存在裂缝、空洞和不密实等缺陷，确保桩体结构的连续性和均匀性。静载试验通过加载检测桩基的承载能力，通常要求测试荷载达到设计承载力的1.5倍，并持续观测沉降量和变形情况，确定桩基在实际荷载作用下的工作性能和稳定性。检测过程中，需记录各项数据，包括加载量、沉降量和时间等，确保试验数据的准确性和可靠性。

此外，还可以采用低应变反射波法或高应变动力试验等其他检测方法，根据具体工程要求选择适宜的检测手段，全面评估桩基质量。对于检测结果，需进行详细分析，对不符合设计要求的桩基进行处理和补救，确保整体工程质量达到标准。验收过程中，需严格按照国家和行业标准进行，包括《建筑基桩检测技术规范》（JGJ 106-2014）等，确保验收工作的科学性和规范性。

结束语：水利工程中钻孔灌注桩施工技术及其质量控制工艺是确保工程质量和安全的关键环节。通过对钻孔、清孔、钢筋笼安装和混凝土灌注等工艺的深入研究和严格管理，可以有效提高桩基的承载力和耐久性。在施工过程中，采用科学合理的技术措施和全面的质量控制方法，确保每一环节都符合设计和规范要求，从而实现工程的预期目标。

参考文献

- [1] 蔡博. 水利施工中钻孔灌注桩技术应用中的质量问题及控制[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2022(6): 3.
- [2] 郭燕丽. 水利建设中钻孔灌注桩技术的应用质量问题[J]. 水电水利, 2023, 7(3): 73-75.
- [3] 王云华. 钻孔灌注桩在水利工程中的施工及其质量管控[J]. 数字化用户, 2022(40): 94-96.
- [4] 汪可. 水利施工中钻孔灌注桩施工关键技术与管理研究[J]. 工程技术(文摘版), 2022(4).
- [5] 赵斌. 水利施工钻孔灌注桩施工技术的探讨[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2023.