

水闸工程中高压旋喷桩质量控制要点分析

林杏传

深圳市宝安排水有限公司

摘要: 本文旨在通过深入分析和探讨高压旋喷桩技术在水闸地基处理中的实际应用,通过该技术显著提高地基的承载力和稳定性。文中借助水利枢纽地基处理的具体施工实例,着重阐述了高压旋喷桩的施工工艺与质量控制策略。经过应用验证,结果显示高压旋喷桩技术不仅确保了施工过程的简便性、工期的精准控制,还保障了项目的安全与可靠性。尽管水闸地基处理具有一定的技术性和施工难度,但高压旋喷桩技术凭借其显著的优势及应用价值,为此类工程施工提供了宝贵的实践经验和技术参考。

关键词: 高压旋喷桩; 地基处理; 试桩

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2023.24.073

一、水文、地质及工程概况

(一) 水文、地质概况

项目区地下水特征展现出明显的季节性变化与年度变化。具体来说,地下水年变幅在1.00~2.50m之间,而年际变化则呈现0.25~0.50m的波动。在每年的6至8月期间,地下水水位通常会触及最低值;而在9月至次年1月间,地下水水位则达到其最高值。通过勘察数据表明,测得的地下水水位高程范围为60.58~61.29m。进一步详述,闸基建基面高程确定为76.08m,而消力池建基面的最低高程则为70.78m。

在地层结构方面,项目区内的地层主要由堤身填土(Q^s)和第四系全新统(Q₄)组成,这些地层主要由冲积成因的砂壤土、粉细砂和细砂构成,展现出基本稳定的空间分布。从上到下,地层的分层表述如下:首层淤积土(a1Q₄)主要由粉细砂和少量泥质组成,其松散质地归因于新近沉积,厚度在0.50~1.50m之间波动。其次是填土(Q^s)层,主要包含砂壤土和可见的植物根系,层厚度介于0.30~2.50m,平均厚度为1.64m。再下来是砂壤土(a1Q₄)层,其土质不均匀,层厚在2.30~6.50m之间,平均厚度为3.62m。粉细砂(a1Q₄)层,主要由石英和长石构成,次要成分为云母,层厚介于6.30~9.20m,平均厚度为7.40m。细砂(a1Q₄)层,同样以石英、长石为主,云母为次,暴露的层厚在5.00~15.00m之间,平均厚度为11.58m。

针对这些地层的特征及其潜在的地震液化风险,经过一系列地基稳定性和地震液化分析,项目区被认定存在饱和地基土的液化问题。因此,地基的处理方案选定为采用高压旋喷桩围封处理法。这种处理方法的选择基于其对于增强地基承载力和稳定性的有效性,以及其在处理类似地质条件下的成功案例。

(二) 工程概况

以某渠3号水利枢纽为例,由节制闸和东三、东二

干渠进水闸组成。该枢纽已有六十余年的使用历史,在近几年仅进行了表面的外观粉刷处理,其主体结构长期缺乏必要的维护和修复。根据《大型灌区续建配套与现代化改造实施方案编制技术指南》的规定,对这三座闸门进行的综合评价均为“d”级,需要进行拆除和重建工作。

在对该区域进行工程地质勘察分析之后,显露出施工场地中存在着一些饱和地基土液化、闸基渗漏,以及潜在的渗透变形等问题。并且,该区域属于VIII度地震区。鉴于这些情况,在节制闸、东三干渠进水闸、以及东二干渠进水闸闸室的四周、闸墩部位、以及闸房基础的四周,决定设置高压旋喷桩连续墙进行加固。计划中的防渗围封桩体结构设计为:桩体直径为1.00m,桩体间距为0.90m,最小成墙厚度为0.30m;同时,节制闸、东三干渠进水闸、和东二干渠进水闸的桩体长度分别设定为15.50m、16.50m、和16m,桩顶部选用为10%的水泥土构造。

在高压旋喷桩的加固材料方面,选用42.5[#]普通硅酸盐水泥,其无侧限抗压强度大于3MPa,且渗透系数不得大于 1×10^{-5} cm/s,以确保工程在进行期间和完成后,地基的稳定性和抗渗性都得到充分的保障,从而为重建的闸门提供一个安全可靠的基础。

二、高压旋喷桩施工工艺与实验验证

(一) 高压旋喷桩施工流程概述

在高压旋喷桩施工中,实施的关键步骤包括:施工前的准备、测量并布置桩孔、机械设备的摆放、进行地面试喷、穿入喷射管、实施喷射注浆、终止灌注、进行冲洗、封堵桩孔,以及后续的检查与验收。每一阶段都在施工过程中占有举足轻重的地位,并且需要在保证安全的前提下,精准、高效地执行,以保障整个施工过程的顺利进行和施工质量的可控。

(二) 高压旋喷桩试验细节

本项目中,高压旋喷桩的试验采用了PH-5D型打桩钻机,并选用三管法的试桩工艺。试验区的位置精心选在水闸南侧的一个开阔地带,其试验桩的直径设为1.00m,而桩间距决定为0.90m。在试验施工前,团队首先测量并标定出试验区的边界线,并进行场地的清理与平整工作。通过监理工程师的复核,对地面高程进行精确测定,并测设每根试验桩的精确位置,利用白灰和木桩进行显眼标识。在确认所有数据和标识无误后,正式开始试桩工作。

在试验区,总共选取了4根高压旋喷桩进行细致的试验。团队根据施工图纸和《建筑地基处理技术规范》的明确要求,选择了试验所需的各项参数,包括水灰比、气压、以及旋转速度。通过精准调节注浆压力和提

升速度，形成试验桩，并在对比分析中选择出最优的施工参数，以达到质量可控的效果，同时满足所有设计指

标的要求。试验结果经过严格检测，并根据结果确定了最终施工的参数，如表1所示。

表1 高压旋喷桩施工参数表

序号	施工项目	技术参数	备注
1	水泥	P.0 42.5水泥	
2	水灰比	1 : 1	泥浆比重1.51g/cm ³
3	喷浆速度	70L/min	不小于30L/min
4	注浆压力	1~2MPa	根据实际喷浆情况调整
5	气压	0.60~0.80MPa	根据喷头深度、土质不同，压力动态调整
6	水压	35~38MPa	根据喷头深度、土质不同，压力动态调整
7	提升速度	0.15m/min	
8	旋转速度	20 r/min	

(三) 施工过程及质量控制关键点探讨

1. 施工准备与场地整治

首先，进行全面的施工场地平整作业，包括清除杂草、树木、生活垃圾和建筑废弃物等。其后，在设计标高上方覆盖约50cm厚度的素土层，旨在作为保护层，以最大程度减轻对原始土层的破坏，同时施行水土保持策略。为阻止雨水进入施工区，使用挖掘机在近邻区域挖设排水沟和截水沟等必要排水构筑物。并部署适量的水泵以排除废弃泥浆。在施工区外部至少保留20m的空间选择合适位置建立沉浆池，用于临时储存废弃泥浆，以避免施工过程中产生的废浆液对环境造成污染。

处于水平状态，以及钻杆在下钻过程中保持垂直。

对钻杆的垂直度进行严格把控是避免斜桩产生的关键步骤。在此，我们采用双垂法来检验钻杆的垂直度，具体来说，垂直度的测量过程如下：在桩机上的塔架两侧，各悬挂一条5m长的垂线，垂线的悬挂点位于塔架的中心位置。在垂线的底部标记中心点。使用钢尺测量两条垂线至其各自中心点的间距，进而计算垂直度的偏差。垂直度的偏差需严格控制在0.50%以内，以防止桩体倾斜或弯曲。

4. 搅拌和管理水泥浆液

根据高压旋喷桩施工参数，严格遵循试验中确立的标准来配制水泥浆液。选用P.0 42.5水泥，采用1:1的水灰比，得到1.51的水泥浆比重。在浆液的制备阶段，采纳“先加水，后加水泥”的基本准则。利用电子计数器精确控制加入桶中的水量，随后再将水泥粉均匀倒入。采用人工数包方法，确保严格按照预定的配合比来制作浆液。

搅拌机启动后，浆液需在10-20分钟的时间内进行充分搅拌，只有充分的搅拌，才能保证水泥与水的均匀混合。在整个施工过程中，浆液在搅拌机中需要持续搅拌，以防水泥浆发生沉淀或离析。通过泥浆比重计定期测量浆液的比重，以便实时掌握并控制浆液的质量，确保其符合设计的要求。

在搅拌机和集料斗之间，设置过滤网来筛除水泥浆液中的悬浮杂质或块状物，保证浆液的纯净度和质量稳定。只有在精确配比和严格质控的基础上，才能确保浆液的性质符合施工要求，并最大限度地保障工程质量和安全性。

5. 注入喷射管的实施过程

在施工初始阶段，全面检查所有设备和高压管路系统，确保其压力和排量均符合设计规范。利用在导杆立柱上划分的每米标尺，精确测量钻孔的最终深度，严格控制钻孔深度的误差在±10cm范围内。

在启动钻机并确认钻头转速达到正常运行状态后，启动高压注水泵，初始设置压力为35MPa。随着水的注入，钻机同时进行喷水和下沉操作，保证水与土体充分混合。高压旋转喷射水通过喷浆嘴切割土体，辅助钻杆

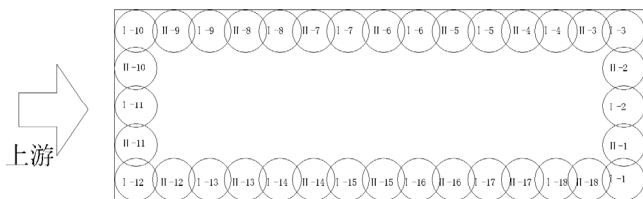


图1 东二进水闸高压旋喷桩桩位平面分步图

2. 精确测量与桩孔布置

初始阶段，依据设计施工图纸的要求进行精确的桩位布置，并构建桩位布置图，进而计算出每个桩的中心点坐标。接着，编制桩号，并举例如图1中的东二干渠进水闸高压旋喷桩桩位平面分布图。选择实施跳桩位法的施工工艺，该方法能够减轻土层的扰动，从而减少对成桩强度的影响。首先进行I序施工，当I序桩强度达到预定标准后，再进行II序施工。终末阶段，依照桩位布置图，采用全站仪和GPS相结合的方法来准确确定旋喷桩的设计孔位，并放置施工轴线、桩位布置基准线，准确标定旋喷桩桩位。每个桩位应进行明确标志，以便于钻头施工时的精准定位。

3. 钻头精确定位及校正

确保准确性在钻头定位阶段起着关键作用。首先，将桩机慎重移至预定桩位，并将钻杆的中心精确对准桩位的标记进行下钻。务必严格控制高压旋喷桩桩位的偏差，在30mm之内。确保桩体的竖直度和位置精度，为后续的施工打下坚实的基础。需要细心调整桩机，确保其

的稳定下沉过程。下沉速度的控制可以通过选择合适的档位来进行调节,同时工作电流需要始终维持在额定值以下。

观察钻机上的深度标识,在喷浆管到达预定设计深度后,立即停止钻进动作,但保持喷射管的旋转不停,以准备进入喷浆阶段。在这一过程中,保持与控制中心的通讯畅通,及时反馈实际施工进度和现场情况^[1]。

在贯入喷射管过程中,持续监测土体的稳定性和喷射液的压力,防止由于突然的压力变化或土体不稳定引发的安全事故。钻杆在下沉过程中需要保证垂直度,避免发生斜桩现象。严格遵循安全操作规程,确保在应对突发情况时能够迅速、准确地作出反应^[2]。

6. 喷浆提升

喷浆提升阶段强调在严格按照先前试验确定的高压旋喷桩施工参数来执行施工,保证在喷浆过程中的速度不少于30L/min,维持气压在0.60~0.80MPa,水压则控制在35~38MPa范围内。在进行桩底喷浆的30秒期间,全力确保浆液彻底达到桩端,以便桩端的土体能与水泥浆充分混合。一旦钻机在桩底部位置进行了座浆处理,需要基于地质情况微调注浆压力,保证其在1~2MPa范围之内,并同时调整喷浆速度以达到70L/min的标准。在喷浆的同时,反向均匀速度旋转提升注浆管,提升速度控制在0.15m/min,旋转速度设定为20r/min。当提升到距桩顶1米的位置时,减缓提升与旋转的速度,直到钻头提升至桩顶。在停止提升后,继续搅拌操作,直至确保桩顶部分的密实均匀,然后停止搅拌,并关闭喷管以完成施工。完成一组桩的施工后,将桩机移至下一桩位置,并遵循同样的步骤进行下一轮施工。

7. 冲洗管路

在高压旋喷桩注浆完毕之后,一个至关重要的步骤是使用清水彻底冲洗注浆管、软管及泥浆泵中的浆液。这一步骤的目的是确保管道和机器内部不留有水泥浆的残余,从而防止浆液在机具内部凝固,导致管路堵塞。这个环节也关系到设备的维护及下一轮施工的顺利进行,保障了施工的持续性和减少了可能出现的故障和维修时间。通过规范的操作流程和细致的实施,可以在大大保证工程质量的同时,提高施工效率和保障施工安全。

三、质量控制措施

质量控制在高压旋喷桩工程中占据着至关重要的位置,直接关系到施工的安全与质量。在正式的施工前,至少进行三根试验桩的操作是必不可少的,不仅能帮助工程团队根据试验结果调整试验桩的数量,还能确定各项施工参数。这些通过试验得出的数据需要在进入下一步施工前经过监理和业主单位的确认^[3]。

在整个施工过程中,实行技术人员随班作业的制度能确保技术人员能够实时记录每一桩的关键参数,包括开钻时间、搅拌次数、浆液比重、开钻深度、记录结束时间以及使用的浆量,旨在保证项目能在设计的标准下进行。针对特定的施工问题,例如不冒浆的现象,可以

通过添加适量的外加剂,加快浆液在指定区域的凝固速度,并缩短凝固时间以应对。另一方面,如果冒浆量显著增加,表明有效喷射范围和注浆量不匹配时,可以适度提高喷射压力或减小喷嘴直径来调整^[4]。

当喷射注浆设备出现故障无法正常施工的情况下,需要迅速进行修理,恢复正常运行后,钻机要重新钻入至停供位置以下1米的位置进行喷射注浆。如果因故障造成的间歇时间大于3小时,需要及时清理设备管道,以防水泥浆在管道内部凝固造成堵塞。进一步地,如果间歇时间超过24小时,那么在原桩位旁边应当执行补桩处理,增加旋喷桩,并按照相同的施工要求重新构建围封。

考虑到注浆设备与施工区之间的距离,不应超过50米,以便减少由于距离过大导致的压力损失的影响,确保在整个工程流程中,从预施工的试验桩验证阶段,到施工过程中的各项参数监控,再到面临设备故障时的应急措施,每一个环节都要精细操作,严格控制,确保施工的质量和安全^[5]。

四、结语

高压旋喷桩技术是一个革命性的地基处理方法,其高效性和稳定性都远超过传统的地基处理方法。相较于传统方法,高压旋喷桩技术具有多种显著的优势。

这种技术为施工提供了巨大的便利,简化了施工流程,降低了操作的复杂性,使得工程人员能够更为顺畅地进行施工。同时,这种方法对环境的冲击也较小,施工过程中产生的噪音和振动都相对较低,大大减少了对周边居民和环境的干扰和破坏。高压旋喷桩的施工周期短,对于任何大型工程项目来说都是非常具有吸引力的。快速的施工不仅缩短了项目的总工期,还有助于节省成本。并且,由于这种技术允许较深的桩深,应用效果尤为显著,提供了强大且稳定的地基支持。水利工程特别是在地基处理方面,高压旋喷桩技术正在逐渐得到广泛的应用。

参考文献

- [1] 李忠宝, 黄贺, 王峰. 高压旋喷桩在富水咬合桩围护体系堵漏中的应用[J]. 建筑工人, 2023, 44(09): 35-38.
- [2] 刘逸文, 周俊, 张文宇等. 浅谈高压旋喷桩止水帷幕在地下水丰富情况下的应用[J]. 四川建筑, 2023, 43(04): 159-160.
- [3] 段玉三. 灌注桩和局部高压旋喷桩组合止水帷幕在顶管中的应用[J]. 建筑技术开发, 2023, 50(08): 135-137.
- [4] 罗辉, 向海泉, 刘民. 砂卵石回填地基高压旋喷桩处理技术应用[J]. 工程建设, 2023, 55(08): 55-61.
- [5] 郝洪江, 杨江枫, 杨永兴. 水闸工程中高压旋喷桩质量控制要点分析[J]. 河南水利与南水北调, 2023, 52(07): 94-96.