

水泥搅拌桩施工技术在水利工程基础处理中的应用分析

华扬 苏东岗

江苏科兴项目管理有限公司

DOI:10.32629/hwr.v10i7.7069

[摘要] 水泥搅拌桩属于原位软土加固工艺,凭借施工扰动小、加固整体性好、经济性突出等特点,被普遍应用于水利工程地基处理工作。水利工程地基普遍存在承载力不足、沉降变形显著、抗渗性能薄弱等缺陷,容易造成基础失稳或结构渗漏等问题。本文结合水泥搅拌桩的作用原理与工艺特征,系统梳理了其在地基加固、防渗止水、边坡稳定等方面的应用优势,明确了其核心施工工艺与质量管控重点,旨在体现该技术在水利工程地基处理中的适用性与实践价值,并为同类地基治理工程提供技术参考。

[关键词] 水泥搅拌桩; 施工技术; 水利工程; 基础处理

中图分类号: TV52 文献标识码: A

Application analysis of cement mixing pile construction technology in water conservancy engineering foundation treatment

Yang Hua Donggang Su

JIANGSU KEXING PROJECT MANAGEMENT CO.,LTD

[Abstract] Cement mixing piles belong to the in-situ soft soil reinforcement technology. With the characteristics of small construction disturbance, good reinforcement integrity, and outstanding economy, they are widely used in the foundation treatment of water conservancy projects. Soft foundations in water conservancy projects generally have defects such as insufficient bearing capacity, significant settlement deformation, and weak anti-seepage performance, which can easily cause foundation instability or structural leakage. By combining the principle and process characteristics of cement mixing piles, we can systematically summarize their application advantages in foundation reinforcement, anti-seepage and waterproofing, slope stability, etc., clarify the core construction process and quality control focus, fully reflect the engineering applicability and practical value of this technology in water conservancy soft foundation treatment, and provide technical reference for similar foundation treatment projects.

[Key words] cement mixing pile; Construction technology; Water conservancy engineering; Basic processing

引言

水利工程多临水修建,施工场地多分布淤泥、淤泥质土等软弱土层,此类土体压缩性大、抗剪强度低、渗透性差,极易诱发地基不均匀沉降、基础渗漏、边坡滑移等安全隐患,严重制约水工构筑物的服役稳定性。水泥搅拌桩通过原位拌和固化土体,能够有效改良软土物理力学性能,提升地基整体承载能力与防渗水平,可适配水利工程复杂、潮湿、临水的特殊施工环境。在水利工程高质量建设背景下,规范水泥搅拌桩施工工艺、强化全过程质量管控,对提升软基处理质量、降低工程隐患、控制建设成本具有重要现实意义。

1 水泥搅拌桩技术的特点

水泥搅拌桩以原位拌和固化为主要原理完成软土地基改良,施工阶段不开展大范围土方开挖作业,对原有地层及周边建构

筑物扰动比较小。桩体与周边原状土协同构成复合受力体系,在提升地基承载性能的同时,同步强化土体防渗止水能力。该工艺配套施工机具轻便灵活,狭小临水作业场地均可适配,施工全过程无大量弃土外运,主材消耗易于把控,综合建设成本优势突出,且工序流程简便,成桩效率较高。但成桩质量高度依赖地层含水率、水泥掺入比例及搅拌拌和均匀程度,因此,对施工全过程精细化管控,前期地质条件匹配研判都提出较高标准。

2 水泥搅拌桩施工工艺流程

2.1 施工准备阶段

正式开工前统一开展场地整理工作,清理区域内地表垃圾及地下埋藏障碍物,地势低洼部位选用符合规范的黏性填料分层回填压实,抬升场地至规定施工高程。闸基上部土体承载力较低,钻机支腿下方铺设粗砂缓冲层并增设钢板垫板,防止设备作

业时发生不均匀沉降,钻机转场施工时同步迁移垫板,持续保障基础支撑条件稳定。施工区域外围搭建闭环排水体系,定期疏浚集水井淤积泥沙,始终保持作业基面无积水,减少土体浸水软化对钻机垂直度与施工精度造成干扰。结合图纸坐标精准测设全部桩位,埋设高程基准点并做好防护,每根桩施工结束后布设标识构件,便于后期分项验收时快速核对桩位信息。

2.2 桩位放样与钻机就位

以施工现场建立的平面与高程控制体系为依据,对照设计图纸坐标参数开展桩位精准放样作业,精准定位每根搅拌桩的中心位置并做好标识。为防止后续机械施工,土体扰动破坏基准点位,应对所有测量控制点实施专项防护,从源头上保障布桩的准确性与规范性。当放样验收合格以后,移动钻机到施工桩位,全面调校设备水平度与钻杆垂直度,将施工偏差严格控制在行业规范允许范围之内。同时优化钻机底部支撑结构,整平作业基面,规避设备施工过程中出现倾斜、晃动等问题,保障整机运行稳定性,为后续钻进搅拌、高压喷浆等工序的精准施工提供坚实保障。

2.3 浆液制备与压力喷浆

根据施工现场软土地基的实际工况及工程设计加固要求,科学确定水泥掺量与施工水灰比,严格遵循配比标准精准计量原材料。通过专用制浆设备进行充分拌和,保障水泥浆液混合均匀,性能稳定,有效杜绝浆液分层、结块、离析等缺陷,制备完成的浆液应经过滤处理,剔除杂质后才能投入施工使用,并保证浆液灌注质量。

2.4 搅拌提升成桩

在桩底稳压注浆作业完成后,严格遵循既定施工参数匀速抬升钻杆,依托钻杆持续旋转搅动作用,促使高压注入的水泥浆液与原状土充分拌和交融。这种提钻、搅拌与注浆同步进行的一体化作业方式,能实现桩身自上而下的分层均匀固化,可以规避搅拌桩施工中常见的桩径收缩、土体夹杂、浆液断层等质量病害,保障桩体结构的完整性与强度均匀性,适配水利工程软土地基加固的质量与工况要求。

3 水泥搅拌桩在水利工程基础处理中的实际应用场景

3.1 软土地基加固处理

水利工程大多坐落于河湖淤积地带,场地普遍分布淤泥质土、杂填土等软弱地层,这类土体具备高含水、高压缩、低强度、低固结度的力学特征,天然地基承载性能难以满足闸站、堤防、泵房等水工构筑物的受力与变形控制标准。在上部结构荷载与长期水文作用的共同影响下,软弱地基容易出现不均匀压缩沉降或土体失稳等问题,诱发结构开裂、设施倾斜等质量病害。水泥搅拌桩采用原位土体固化技术,通过水泥浆液与原状土体的水化、胶凝及固结反应,将松散软弱土体固结为整体性强、刚度均匀的复合地基,有效提升地基承载力与抗变形能力,大幅度降低地基沉降变形风险,从源头上保障水工建筑物的长期使用稳定性。

3.2 渠道及箱涵软基地基处理

在水利输水系统中,渠道与地下箱涵属于线性输水枢纽工程,工程跨度大,覆盖范围广,施工沿线不可避免经过低洼沼泽、沟塘淤积等不良地质区域。该类场地土质松软、含水率高、固结性能差,天然地基难以承载衬砌结构与水体荷载的长期作用,易产生不均匀沉降,从而引发底板开裂、衬砌脱落、水体渗漏等结构性病害,严重降低输水工程的密闭性与使用寿命。针对这些隐患,采用水泥搅拌桩开展基底加固处理,通过原位固化技术改良软弱土体的物理力学性质,全面提升地基整体承载力与抗变形能力。同时,桩土复合地基能够构建稳定的基底防渗屏障,有效阻断地下水渗透通道,防止基底土体被渗透水流掏空扰动,保障渠道与箱涵结构的整体性与运行稳定性。

3.3 库区围堤、围堰临时及永久地基处理

库区围堤与施工围堰是水利工程挡水蓄水、施工导流的重要构筑物,多修建于河滩淤积、滨海滩涂等软弱地基之上,长期受静水压力、水流冲刷、风浪淘刷等多重外力作用,对地基的抗滑移性能、整体刚度及防渗能力有着严苛的施工要求。传统换填夯实或机械压实等地基处理方式存在施工扰动大,防渗效果弱,适配性差等弊端,很难满足临水复杂工况的施工需求。水泥搅拌桩技术依托原位搅拌固化的施工优势,无需大规模开挖换填土体,对周边环境与原生地层破坏极小,高度适配临水滩涂施工场景。经该工艺加固后的复合地基,能提升基底整体刚度与抗滑稳定性,有效规避地基沉降、侧向滑移等风险,既能满足库区永久围堤长期服役的高标准质量要求,也适配施工围堰临时挡水的高强度作业需求,兼顾工程施工质量与经济适用性。

3.4 穿堤管线、取水构筑物地基处理

穿堤输水管线与岸边取水设施是水利调水,供水体系的重要配套构筑物,往往布设于河湖沿岸淤积地带,场地土质松软,土层均匀性差,天然地基承载能力不足,很难适应精细水工结构的受力要求。这类构筑物连接节点繁杂,结构整体性强,对基础沉降与位移变形具有高度敏感性,若地基稳定性不足,易造成管线接口错位、结构渗漏、设备偏移等质量缺陷,直接威胁整体供水系统的运行可靠性。通过水泥搅拌桩局部加固技术对构筑物基底及受力影响区域进行地基处理,能改良软弱土层的力学特性,有效抑制地基不均匀沉降,保障管线铺设与取水设备安装的精度及结构完整性。

4 水泥搅拌桩施工技术在水利工程基础处理中的应用策略

4.1 结合地质条件优化施工方案

水利工程建设场地水文地质条件复杂多变,不同区域的软土厚度、土体含水率、压缩特性及地下水位存在显著差异,如果采用统一标准化施工参数,易出现桩体强度不均、地基加固不达标、局部沉降超标等质量问题。对此,正式开展搅拌桩施工以前,必须全面细致开展现场地质勘察工作,系统探明施工区域的土层分布,力学指标及地下水赋存状态,结合闸站、堤坝、渠道等不同水工建筑物的荷载要求,沉降控制标准及防渗等级,针对性

调整桩长、桩径、水泥掺量、搅拌深度等重要设计参数。通过贴合场地实际工况定制专项施工方案,能有效规避地质缺陷带来的施工风险,最大限度发挥水泥搅拌桩的固化加固与防渗止水效能,以此来保障地基处理效果满足工程长期运行标准。

4.2 规范现场成桩施工工艺流程

水泥搅拌桩成桩质量对施工工序的连续性与规范性依赖性极强,各施工环节的操作偏差都会影响桩身完整性、密实度及桩土结合效果。在现场施工过程中,应严格遵循精细化、标准化作业原则,对钻机就位、下沉钻进、原位喷浆、匀速提升、反复复搅、桩顶封护等全流程工序进行严格管控。施工人员应根据地层变化实时调控钻进速度、喷浆压力、输浆速率与搅拌频率,杜绝断浆、漏浆、提速过快、搅拌不充分等常见施工问题。针对水利工程深部软土层、高透水地层等复杂施工区域,还可以通过二次复搅、分层喷浆等补强工艺优化成桩质量,保证桩体结构均匀密实,实现软土地基均衡的加固效果。

4.3 完善施工检测与质量管控体系

一套系统化的质量管控机制,是水泥搅拌桩软基处理工程达到设计标准,维持水工基础长效稳定服役的根本依托,能提前预判各类成桩瑕疵,阻断存在质量缺陷的工序向下流转,从根源上降低地基失稳渗漏等安全风险。面对水利软基施工易出现的桩体固结不均匀、桩身强度不满足设计要求、防渗性能缺失等典型病害,项目应搭建动态化全过程质量管理框架,把质量监督、技术核验工作延伸到前期施工筹备,现场成桩作业,桩体养护成型,专项性能检测直到最终竣工验收全部环节。而在现场作业阶段,管理人员需持续跟踪记录设备工况、水泥浆液配合比、喷浆压力、搅拌转速、钻杆升降速率等工艺参数,依照行业规范落实标准化操作,有效预防断浆、搅拌深度不足、桩体分段残缺等施工通病。待全部桩体养护期满以后,参照水利工程验收规范综合运用低应变检测、钻芯取样、地基静载试验、渗透试验等检测手段,综合评定桩身完整程度,桩土固结效果,复合地基承载能力以及整体防渗能力。

4.4 优化差异化布桩

水工建筑物不同受力区域的荷载大小,变形要求及防渗需求存在明显区别,均匀统一的布桩方式易造成部分区域加固强度不足,部分区域资源浪费的问题,很难适配复杂水利工程的地

基受力特点。基于建筑物结构受力特征与地基土层空间差异,推行差异化或精细化布桩模式十分必要。能针对闸室基础,坝体主轴等高荷载,高沉降控制区域,适当加密桩体布置,增大桩体规格,提升地基整体承载与抗变形能力。对于边坡辅基、渠道外侧等次要受力区域,能合理放宽桩体间距,优化施工布局。通过分区、分级、差异化布桩设计,既能精准满足不同部位的地基加固与防渗需求,又能有效节约施工成本,缩短工期,实现工程质量与经济效益的提升。

5 结语

总之,水泥搅拌桩施工技术具备原位土体固化,施工扰动小,加固与防渗一体化的突出技术优势,能良好适配水利工程软土分布广泛,水文条件复杂,基础变形控制标准高的特殊施工工况,广泛适用于软基补强、堤坝防渗、基坑支护止水等各类水工基础治理场景。通过依托现场地质实况定制专项施工方案,规范标准化成桩作业流程,辅以差异化布桩设计与全流程质量管控措施,能规避地基不均匀沉降、渗流破坏等工程病害,能提升水工地基的整体稳定性与耐久性。与传统地基处理工艺相比,水泥搅拌桩技术适配性更广,施工效率更高,综合效益更优,能有效保障水利工程基础的长期服役安全,对各类水利软基处理工程的标准化施工与技术优化具备重要的参考价值与推广意义。

[参考文献]

- [1]陈永杨,梁素丹.水利施工的水泥搅拌桩施工工艺与质量控制措施[J].中华建设,2025,(12):183-185.
- [2]郑建阳.水泥搅拌桩施工技术在水利工程闸站基础处理中的应用[J].工程技术研究,2025,10(19):85-87.
- [3]罗丽金.水泥搅拌桩在水利工程护岸挡墙基础处理中的应用[J].工程技术研究,2024,9(16):78-80.
- [4]吕金金,王成,袁争光.微扰动水泥搅拌桩在水利工程施工技术的探讨[J].珠江水运,2024,(11):71-73.
- [5]樊佳男,周洁,杨波,等.水利工程护岸挡墙基础施工运用水泥搅拌桩的解析[J].中华建设,2024,(2):148-150.

作者简介:

华扬(1993—),男,汉族,江苏南通人,本科,中级工程师,研究方向:水利工程技术。