排涝泵站深基坑止水帷幕施工技术应用

周 彭[1]，欧阳飘[2]

（1. 中国葛洲坝集团三峡建设工程有限公司，湖北 宜昌 443000；
2. 瑞金市水利局，江西 瑞金 342500）

摘 要 城市防洪排涝体系是保障城市运行安全的重要基础设施，排涝泵站作为其中的关键功能性枢纽，其深基坑施工往往面临高地下水水位、深厚软土层分布复杂、周边建构筑物及管线环境敏感等多重不利因素制约。本文立足于当前排涝泵站工程深基坑施工的实际场景，系统梳理工程自身特性与区域气候水文条件，通过多维度对比不同止水帷幕施工技术的适用场景与技术经济优劣，筛选适配性最优的施工工艺，以此全面提升排涝泵站深基坑工程的施工安全与质量管控水平。在排涝泵站深基坑止水帷幕的全流程施工中，需从前期水文地质精准勘察、高精度测量放线、标准化成桩工艺管控、连续成墙质量控制、特殊节点补强加固等核心工序入手，明确各环节的技术执行要点与质量验收标准，以期为同类排涝泵站工程的建设及后续长期安全运营提供可参考的技术实践依据。

关键词 排涝泵站；深基坑；止水帷幕；三轴搅拌桩

中图分类号：TU753.3 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.27.014

0 引言

在我国现代化城市建设高质量推进的背景下，城区建筑密度持续提升、人口规模不断扩大，大量新建排涝泵站不得不选址于人口密集区或河湖水系发达的滨水地带。在排涝泵站的全流程建设中，深基坑开挖是决定后续主体结构施工安全的核心环节，这类工程普遍面临开挖深度大、地下水位高、软土层分布复杂等多重技术挑战，对基坑围护体系的止水密闭性提出了远高于普通建筑基坑的严苛要求。一旦基坑止水结构出现破损、渗漏等性能缺陷，不仅极易直接引发坑内涌水、涌砂、边坡失稳坍塌等施工险情，还会进一步扰动周边土体应力场，诱发邻近建筑物开裂、市政管线错位、地面不均匀沉降等次生环境风险[1]。因此，系统研究适配排涝泵站工况的科学止水帷幕施工技术，全链条落实施工过程中的质量管控措施，是保障排涝泵站工程建设质量与长期运行安全的核心前提。

1 排涝泵站深基坑工程特点

在排涝泵站深基坑施工中，其具备较高的特殊性与复杂性。第一，排涝泵站深基坑地质条件复杂。由于排涝泵站建设在临河或低洼地带，地下水极为丰富，这导致深基坑施工面临的水环境较为复杂。再加上淤泥质土、粉细砂等高深土层影响，对止水帷幕结构抗渗性、连续性等方面提出更高要求。第二，开挖深度大、空间受限。在排涝泵站施工环节，为保证水泵扬程达到要求，基坑开挖深度一般在10 m以上甚至更深。同时，在排涝泵站建设中，其周边区域紧邻民用建筑、道路、既有管线，这促使现场施工作业空间狭小，大型设备无法进入现场，需优化工艺方案才能提高施工效率。第三，环境敏感性强。排涝泵站通常建设在城区地带，其施工环节受到噪声、振动、泥浆排放等多重限制，如果没有采取有效控制措施，会造成周边地面沉降，建筑物安全也无法保障。第四，工期要求紧张。排涝泵站一般是在汛期前投入使用，导致现场施工周期较短，这对现场施工组织和工程质量有极高要求。

2 止水帷幕技术选型

排涝泵站面对特殊条件，在基坑止水帷幕施工时，需结合现场地质条件、开挖深度、经济性、环境影响等确定适宜方案。目前止水帷幕施工中，常见的工艺方案为高压旋喷桩、深层搅拌桩、地下连续墙等。高压旋喷桩应用到深基坑中，能快速提高止水效果，特别是针对复杂条件，采取异形桩体设计方式，能满足多样化施工需求，但施工速度慢、成本高，且施工环节形成大量废浆。深层搅拌桩以三轴搅拌桩为主，其在施工阶段能提高搭建效果，且成墙连续性良好，降低对周边环影响，且施工速度快，一般在地下水丰富的基坑中应用普遍。深层搅拌桩一般选用三根钻头同时切削土体，然后注入水泥浆，从而搭接形成墙体结构，能有效阻隔地下水渗流。地下连续墙止水性能优越、

作者简介：周彭（1982-），男，本科，高级工程师，研究方向：水利施工技术、软基处理。

刚度大，但施工环节所需设备体型大、成本高，一般在变形要求严、超深基坑中广泛使用[2]。

3 排涝泵站深基坑止水帷幕关键施工技术要点

3.1 施工前准备与现场勘察

排涝泵站深基坑施工前，需组织技术人员做好现场准备与勘察工作，这是提高止水帷幕施工效果的关键。在现场地质勘察环节，以先进技术手段作为基础，复核岩土工程勘察报告，精准检测含水层分布、渗透系数、承压水头、不透水层埋深等，落实现场补充勘测作业，以确保地质勘查符合现场实际情况。同时，对排涝泵站周边自然环境展开调查，掌握既有建筑物、地下管线、道路分布情况，作出风险精准评估，以便制定适宜专项保护方案。在现场调查结束后，需落实施工组织设计工作，明确工艺流程和组织方案，再由专家充分论证，确保现场施工作业有序开展。现场施工准备需做好场地平整工作，在施工作业位置铺设钢板、路基箱等，以满足重型桩机行走需求。此外，现场建设临时排水沟与泥浆池，使现场泥浆循环系统能达到通畅性[3]。

3.2 测量放线与点位布设

排涝泵站深基坑需落实测量放线工作，进而指导止水帷幕后续施工，以提高止水帷幕垂直度与连续性。在止水帷幕测量放线时，以设计方案为基础，采用全站仪精准标注止水帷幕中心线，确定基坑开挖边线，防止因为开挖控制不足导致严重安全事故。三轴搅拌桩根据设计方案确定桩径、搭接宽度，按照设计方案精准计算各桩位坐标，从而使桩位测量精准性达到要求，使各结构部件连接具备紧密性。对于深基坑施工的接头、转角、应力集中等位置，极易造成施工效果不合格，需采取加密桩位或选用加强措施，以增强基坑止水帷幕施工效果。在现场测量放线完成后，需进行各项参数复核检测，再将钻机移动到规定位置。而在桩机移动到位后，通过经纬仪、吊线锤双向校正钻机垂直度，确保钻机垂直度偏差 1/250 以内[4]。

3.3 止水帷幕成桩

在排涝泵站深基坑止水帷幕施工中，成桩为核心环节。三轴搅拌桩在施工阶段，其工艺方案为“两搅两喷”或“三搅两喷”，从而使水泥浆与土体充分搅拌均匀。在搅拌设备开启作业前，先使用注浆泵送水，使浆液到达喷浆口后，再继续进行钻进下沉作业，禁止先钻进后喷浆，否则将会造成堵管风险。而在桩体下沉阶段，需对沉入速度进行监测，通常下沉速度为 1 m/min 以内、提升速度 2 m/min 以内。水泥浆在制作阶段，需按照设计方案严格控制配合比参数，通常水灰比为 1.5 ～ 2.0。在水泥浆注入土体过程中，选用高速搅拌设备持续搅拌 3 min 以内，且做好过滤处理，以防水泥浆配制不当引发堵管风险。现场施工阶段监测注浆压力、流量、钻机扭矩，若未能符合方案标准，则及时停止施工。在每根桩体施工结束后，对设备以及管道全面清洗，以防残留浆液造成堵管风险[5]。

3.4 成墙施工工艺

在深基坑止水帷幕成墙施工中，需保证成墙具备连续性，这样才能保证成墙结构防水效果达到要求。三轴搅拌桩采用套接一孔的方式进行连续墙施工，按施工要求落实时间间隔，使前后结构凝结时间达到要求，以提高墙体结构搭接效果。如果相邻桩体施工间隔时间较长，先前施工的混凝土结构硬化完成，这导致新旧混凝土连接效果较差引发冷缝问题，进而影响连续墙止水帷幕效果。根据三轴搅拌桩施工要求，选择适宜施工机组，落实现场施工组织工作，以防施工作业存在中断影响连续墙紧密性。若深基坑为超深基坑类型，需选择分级变径或组合型桩墙结构形式，上部使用大直径桩，下部嵌入不透水层。施工前需对三轴搅拌桩机组进行全面调试，检查搅拌叶片磨损情况、注浆系统密封性，确保机组运行稳定。注浆材料选用符合设计标准的水泥浆，严格控制水灰比，搅拌均匀后静置一段时间，去除浆液中的杂质和气泡。成墙施工时，控制搅拌桩下沉和提升速度，保持匀速作业，确保浆液与土体充分混合，提升墙体密实度。施工过程中安排专人全程监测，记录桩体深度、注浆量、施工时间等参数，及时调整施工节奏。针对施工中可能出现的冷缝隐患，提前准备应急处理方案，对已出现的冷缝进行注浆加固处理，确保墙体整体止水性能不受影响。

3.5 节点处止水加固施工

在排涝泵站深基坑止水帷幕施工中，节点止水加固施工尤为重要。这一部位施工若未能达到工程要求，必然给整个深基坑止水帷幕效果造成不利影响。在节点处止水加固施工阶段，需考虑到地质复杂条件以及地下水水位变动，分析其潜在裂缝发生因素，并选用加密桩或高压旋喷桩补强方式，确保各位置达到圆弧过渡要求，从而分散应力，以增强止水帷幕结构的强度。止水帷幕和围护桩空隙需采取封堵措施，一般采用高压旋喷桩方式充填作业，确保各结构位置连接具备紧密性。针对施工缝或分段施工连接位置，一般在接缝位置增加一排止水桩或进行注浆加固，其搭接长度应超过 500 mm。

4 工程案例分析——东升排涝泵站深基坑止水帷幕施工

4.1 工程概况

东升排涝站位于瑞金市城东区，选址定于瑞金宾馆下游侧空地，紧邻兴华路。该区域地形由北向南、

由东向西倾斜，最低点位于瑞金宾馆附近，符合城市排水规划中管网水流汇集走向。站址周边地形平缓，变化不大，用地性质规划为公园用地，符合城市建设要求。拟建排涝泵站基坑开挖深度约9.5 m，周长240 m。场区地层主要由杂填土、粉质黏土、淤泥质土及中粗砂组成，地下水位埋深约1.0 m，与附近河流有水力联系，补给充沛。基坑东侧距现有民房最近处仅8 m，南侧紧邻市政道路，对环境变形控制要求严格。鉴于高水位及敏感环境，项目决定采用SMW工法桩（型钢水泥土搅拌墙）作为支护与止水一体化结构，其中水泥土搅拌桩承担主要止水功能。

4.2 止水帷幕技术方案选定

通过对东升排涝泵站的现场环境与地质条件综合分析，技术团队结合现场勘察结果进行多方案比选。由于该项目存在基坑深、水位高特性，且地质条件以含砂层为主，若选择单纯高压旋喷桩方式，其工期延长、成本升高，而地下连续墙则场地受限、成本高。经过技术人员综合分析，最终采用 φ850@600 三轴水泥土搅拌桩内插H型钢的SMW工法，结合现场实际情况进行方案调整。在本次施工方案中，利用三轴搅拌桩形成止水帷幕，能有效阻隔地下水径流作用；H型钢确保止水帷幕有较高承载力，面对土体压力依然能保持连续墙结构稳定性。水泥土强度设计为1.2 MPa，渗透系数小于1×10^{-7} cm/s。止水帷幕设计需穿透粉砂层，进入相对不透水层的粉质黏土深度2.0 m，总桩长18 m。该方式能满足现场地质条件和深基坑施工要求，有效降低污染与噪声，形成多重防护体系。施工流程严格遵循标准化作业程序。首先进行场地硬化与沟槽开挖，清除地下障碍物，导向沟尺寸定为宽1.2 m、深1.5 m。随后桩机就位，调整垂直度，启动三轴钻机下沉喷浆，采用“两搅两喷”工艺，下沉速度0.8 m/min，提升速度1.5 m/min，水泥掺量20%。在成桩过程中，实时监测浆液流量与压力，确保每延米注浆量达标。第一幅桩施工完成后，立即移动桩机进行第二幅施工，严格执行套接一孔工艺，搭接时间控制在24小时内。H型钢在工厂预先除锈涂刷减摩剂，待水泥土初凝前插入，利用自重与辅助振动锤下放至设计标高，确保定位准确。施工期间，设立专职质检员全程旁站，记录每根桩的施工参数。完工后，对桩顶进行清理，浇筑钢筋混凝土冠梁，将型钢与搅拌桩连成整体，形成完整的支护止水结构。

4.3 施工监测

为检验本次施工效果是否达到要求，由技术人员对现场施工效果全面监测。在现场施工环节，基坑内部设置12个观测井，监测水位8个，测斜管监测深层土体位移，周边建筑物则设置20个点位监测沉降量。通过对监测数据分析，基坑开挖到底部标高部位时，坑外最大水位下降只有0.3 m，远远未达到警戒值1.0 m，这说明止水帷幕效果处于良好状态。通过对这些数据的分析，围护结构最大水平位移18 mm，位于基坑中部，未超过30 mm的规定限值；周边建筑最大沉降量12 mm，道路沉降量15 mm，均处于可控范围，未发生裂缝问题。

4.4 工程总结

东升排涝泵站深基坑施工总工期为4个月，止水帷幕保证深基坑结构稳定性。从本次实践经验分析，选择 φ850 三周搅拌桩作为止水帷幕，尤其应对敏感环境与富水砂层，能提高深基坑止水效果。而在现场施工环节落实工艺方案控制措施，使深基坑构建封闭止水体系，其能有效阻隔地下水位侵扰影响，确保深基坑处于干燥环境。SMW工法应用后能有效节约项目建设工期，减少泥浆排放，遵循绿色环保理念。从现场施工监测数据分析发现，本次项目施工阶段作业现场环境影响较小，确保施工效果合格，且环境危害降到最低。

5 结束语

排涝泵站作为现代城市防洪排涝的重要设施，其深基坑止水帷幕关系到排涝泵站运行可靠性。本文选择东升排涝泵站作为案例，深入探讨深基坑止水帷幕施工策略，通过优化工艺方案，保证深基坑止水帷幕效果达到要求，以满足现代排涝泵站建设和运维需求。而在排涝泵站深基坑止水帷幕施工阶段，需优化改进工艺方案，采取精细化控制措施，使每个环节施工效果达到工程要求，进而提高排涝泵站深基坑止水帷幕建设效果，满足现代防洪排涝设施运营需求，为城市建设和发展做出贡献。

参考文献：

[1] 郜长江,张松.高压旋喷桩止水帷幕的施工应用与质量控制[J].居舍,2024(20):30-33.
[2] 徐晓龙.超深地连墙止水帷幕施工分析[J].安徽建筑,2024,31(08):124-126.
[3] 佟保强.黏土咬合桩止水帷幕在临江车站的应用[J].低碳世界,2024,14(12):130-132.
[4] 晏姝.深基坑悬挂式止水帷幕地下水控制研究[J].土工基础,2025,39(03):455-458,463.
[5] 郑晓建,卫昌林,刘向群,等.深基坑止水帷幕TRD工法及其施工质量控制研究[J].工程技术研究,2025,10(13):143-145.