

王道泵站地基处理技术应用分析

郭 良

(山东省水利工程局有限公司, 山东 德州 250000)

【摘 要】在小清河防洪综合治理工程中,王道泵站作为胶东调水重要枢纽,其地基稳定性直接关系到防洪与调水功能的实现。针对泵站地质条件复杂、承载力不足与渗透性强的问题,采用了水泥土搅拌桩复合地基处理技术。通过对桩体设计、布置与深层施工工艺的分析,结合防渗、承载力与稳定保障措施,确保地基强度和整体稳定性,并通过复合地基静载荷试验与单桩竖向抗压试验,验证了承载力、沉降控制及防渗性能均满足规范要求。研究结果为类似水利工程提供了可借鉴的技术参考与实践经验。

【关键词】小清河;防洪治理;王道泵站;水泥土搅拌桩;地基处理技术

【中图分类号】TV675

【文献标志码】A

【文章编号】1009-6159(2026)-09-0016-03

Application and Analysis of Foundation Treatment Technology for Wangdao Pumping Station

GUO Liang

(Water Resources Engineering Bureau Co., LTD., of Shandong Province, Dezhou, Shandong 250000, China)

Abstract: As a key hub of the Jiaodong Water Diversion Project, Wangdao Pumping Station in the Comprehensive Flood Control Project of Xiaoqing River features foundation stability that directly determines the flood control and water diversion functions. Aiming at complex geological conditions, insufficient bearing capacity and high permeability of the pumping station site, the cement and soil mixing pile composite foundation technology is adopted. Through analysis on pile design, layout and deep construction technology, together with supporting measures for anti-seepage, bearing capacity and stability guarantee, the foundation strength and overall stability are guaranteed. Furthermore, the static load tests for composite foundation and vertical compressive tests for single pile verify that bearing capacity, settlement control and anti-seepage performance all meet specification requirements. The research results provide technical references and practical experience for similar water projects.

Key words: Xiaoqing River; Flood control project; Wangdao Pumping Station; Cement and soil mixing pile; Foundation treatment technology

小清河是山东省重要的防洪与调水通道,其治理工程对区域水安全具有重大意义。王道泵站作为枢纽性建筑物,是实现防洪排涝与胶东调水的核心环节。由于王道泵站场地地质条件复杂,土层以壤土、砂壤土及粉细砂为主,存在承载力不足与渗透性较强的问题,因此亟需采取有效的地基处理措施。

王道泵站工程建设单位为山东省调水工程运行维护中心,施工单位为山东省水利工程局有限公司。泵站设计采用水泥土搅拌桩作为地基处

理方案,总计施工搅拌桩 5 956 根。

1 泵站地基地质条件

根据勘察结果,场地地层自上而下主要由第四系冲积、海积堆积物组成,分布有壤土、砂壤土、粉细砂及局部黏土层。整体表现为土层成分复杂、分布不均,局部存在饱和状态,对地基承载力和稳定性形成挑战。主要地层特征见表 1。

收稿日期:2026-03-01

作者简介:郭良(1990—),男,工程师

表 1 王道泵站工程场地地质条件

层次	土层名称	厚度/m	层底高程/m	特征描述
填土	人工填土	约 1.8	3.48	含碎石,成分不均
IV-①	轻粉质壤土	1.4~2.1	0.64~1.41	局部粉粒含量高,夹植物根茎
IV-②	砂壤土	1.4~3.6	-3.72~-0.55	粉砂含量不均,局部呈粉砂状
IV-④	粉细砂	1.0~2.9	-3.96~-3.0	偶见贝壳碎片,近似砂壤土
IV-⑤	壤土	6.0~8.7	-11.05~-9.54	局部黏土夹层,见铁质浸染
IV-⑥	砂壤土	1.7~5.2	-22.44~-12.05	黏粒含量不均,局部具塑性
IV-⑥-I	壤土	1.2~2.9	-16.23~-14.58	含黏粒较高,夹薄层砂壤土

场区地质条件决定了地基处理的复杂性。一方面,粉细砂及砂壤土在饱和状态下存在渗透性强、承载力低的问题,易引发沉降与渗流;另一方面,壤土层强度差异较大,局部软塑土对整体稳定性构成威胁。在这种条件下,单纯依靠天然地基难以满足泵站运行需求^[1]。

水泥土搅拌桩可有效提升土体强度,使其承载力设计值提高至 160~210 kPa,满足泵站运行工况下的安全稳定要求。同时,由于桩体水灰比控制合理,浆液与土体混合均匀,复合地基渗透系数降低至 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ cm/s 数量级,相比天然地基降低约两个数量级,为防渗效果提供理论保障。

2 地基处理技术与检测

2.1 水泥土搅拌桩设计与布置

王道泵站场地地质条件复杂,天然地基承载力仅为 80~100 kPa,工程采用水泥土搅拌桩复合地基处理技术。搅拌桩直径为 0.6 m,设计桩长分为 5 m 与 10 m 两种规格,根据泵站不同功能区的荷载需求进行分区布置。浅层区域以 5 m 桩为主,重点提高上部壤土层的抗压与防渗性能;在深层粉细砂及砂壤土分布区,则采用 10 m 桩贯穿软弱层,以实现承载力与防渗的双重保证。桩间距为 1.0 m、1.2 m,采用梅花形布置方式,使得桩与桩间土体共同工作,形成密实的复合地基^[2]。

2.2 深层搅拌桩施工工艺

深层搅拌桩施工的关键在于保证水泥浆液与原状土体的充分混合,形成连续均匀、强度与密实性均符合要求的桩体,施工工艺流程如图 1

所示。王道泵站施工采用双轴搅拌钻机,其扭矩和提升力均能满足 10 m 长桩的搅拌需求。

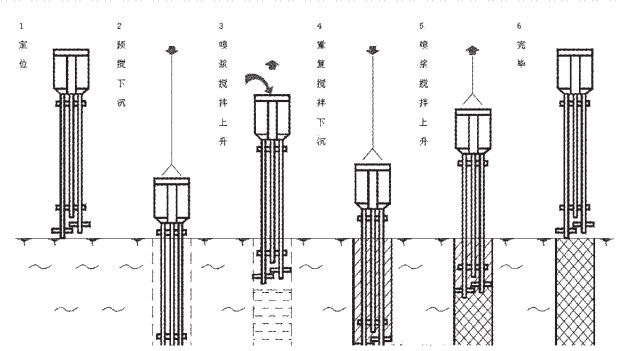


图 1 水泥土深层搅拌桩施工工艺流程

1)测量放线与钻机控制。施工前依据布桩图进行精确放线,测量偏差控制在 ± 2 cm 以内。钻机就位后校正垂直度,偏差不得超过 1%,避免桩体倾斜影响复合效果。泵站区域地下水位较高,钻机下沉过程中需同步低压喷浆,保证桩孔稳定。

2)浆液制备与输送。浆液采用 PHSR42.5 高抗硫酸盐水泥,水灰比严格控制在 0.8~1.0,以兼顾流动性与最终强度。制浆机采用高剪切搅拌,制浆时间 ≥ 2 min,保证浆液均匀。浆液输送过程全程密封,避免水灰比波动。注浆量控制在 350~450 kg/m,现场实时监测压力在 0.3~0.5 MPa 之间,过低易致断桩,过高则可能扰动周边土体^[2]。

3)下沉搅拌与提升成桩。钻杆下沉至设计深度后开始注浆并同步搅拌,提升速度控制在 0.8~1.2 m/min。采用正反双向搅拌工艺,使浆液充分渗透至原状土中,避免桩体出现“心土”或“缩颈”现象。桩顶需高出地面 20~30 cm,保证桩体完整。

2.3 防渗与稳定保障措施

1)抗滑与稳定加固。桩体布置呈“三角梅花形”排布,桩间距 1.0~1.2 m,增强桩土共同作用。搅拌桩强度达到 1.5~2.0 MPa,整体提高地基抗剪强度,保证泵站运行中不发生滑移和过量沉降。

2)地下水压力控制。在泵站基坑周边布设减压井和排水沟,降低地下水位,减少渗透压力对结构稳定性的影响。施工期间要求水位降低幅度不小于 0.5 m,并保持稳定。

3)沉降与变形监测。在桩区布设沉降观测点与水平位移监测桩,施工期间沉降速率控制在 ≤ 1.0 mm/d,累计沉降不超过 30 mm;运行期累计沉降控制在 ≤ 50 mm,不均匀沉降差不超过 20 mm。

2.4 泵站地基施工质量控制

1)搅拌桩施工质量控制。桩体质量检控遵循《建筑地基工程施工质量验收标准》(GB 50202—2018)。施工质量控制主要包括:首先测量放线与桩位定位误差必须控制在 ± 2 cm以内,竖直偏差不超1%;其次,浆液水灰比需保持0.8~1.0,注浆量保持在350~450 kg/m,注浆压力控制在0.3~0.5 MPa,以保证桩径与强度符合设计要求;再次,通过钻芯取样和无侧限抗压试验评价桩体强度,强度需达到1.5~2.0 MPa,确保整体桩体均匀性及强度满足规范目标;最后,单桩静载试验必须覆盖典型区域,承载力应达到141.37 kN以上,把工程控制在安全裕度范围内。

2)防渗施工质量控制。防渗控制主要依赖水泥土搅拌桩复合体来降低渗透率,依据规范安排水封性、回弹率和沉降监测。水封性检测包括液压渗透试验,搅拌桩复合体的渗透系数应控制在 10^{-6} cm/s以下;桩体回弹模量均匀性变异系数不得大于15%,单点检测值与设计强度差异不超过10%;施工及运行期间沉降累计值分别控制在 ≤ 30 mm和 ≤ 50 mm,不均匀沉降差不得超过20 mm。同时严格执行施工自检、监理复检和设计复核的三级质量把关制度,确保防渗透与稳定性能满足设计与规范要求。

3 力学试验验证分析

3.1 复合地基静载荷试验

1)试验设计。复合地基静载荷试验在泵站施工区域内布设3个典型测试点,试桩布置覆盖代表性地质层位,桩长与施工桩保持一致。试验采用分级加载方式,以设计承载力的20%为一级荷载,逐级加载至设计荷载的2.0倍,单级荷载保持时间不少于60 min,沉降速率稳定在0.1 mm/h以内方可进入下一级。试验过程中布设百分表与位移计同步监测桩顶沉降,加载卸载均按照《地基基础工程施工质量验收规范》(GB 50202—2018)执行,以确保结果具备代表性与可比性^[3]。

2)试验结果与分析。试验结果表明,复合地基在加载至设计荷载时沉降稳定,承载性能良好,未出现明显破坏或突跳。最大沉降量控制在规范限值以内,表现出良好的承载力和稳定性。具体数据见表2。

表2 复合地基静载荷试验结果与控制值对比

指标	实测值	控制值范围	结论
承载力特征值/kN	145.6	≥ 140	合格
最大沉降量/mm	22.3	≤ 25	合格
沉降速率/mm·d ⁻¹	0.8	≤ 1.0	合格
回弹量/mm	3.5	≤ 5	合格

结果显示,复合地基承载力满足设计要求,沉降变形处于规范范围内,承载稳定性和回弹性能均符合标准,说明复合地基整体性能可靠。

3.2 单桩竖向抗压试验

1)试验设计。单桩竖向抗压试验选取施工区内4根成桩质量均符合要求的水泥土搅拌桩作为检测对象,试验布点兼顾不同土层条件,具有一定代表性。加载方式同样采用分级加载,每级荷载为设计承载力的10%~15%,加载至设计荷载的2.0倍或桩体出现明显破坏特征为止,每级荷载保持60 min,沉降变化小于0.1 mm/h方可继续加载。桩顶沉降通过千分表与全站仪联合监测,保证数据精度,试验方法严格遵循《建筑地基基础工程检测技术规范》(JGJ 106—2014),以评价单桩的极限承载力与变形特性。

2)试验结果与分析。试验结果表明,单桩在加载过程中荷载—沉降曲线呈稳定发展,极限承载力均高于设计值,桩体未发生明显破坏。具体数据见表3。

表3 单桩竖向抗压试验结果与控制值对比

指标	实测值	控制值范围	结论
极限承载力/kN	162.8	≥ 150	合格
桩顶最大沉降量/mm	18.7	≤ 20	合格
沉降速率/mm·d ⁻¹	0.6	≤ 1.0	合格
回弹量/mm	2.8	≤ 5	合格

从对比结果可见,单桩竖向抗压性能优于规范要求,桩体强度与变形特征表现稳定,能够保证泵站运行过程中的长期承载与防渗需求。

参考文献

- [1] 张青.三轴水泥土搅拌桩施工技术应用的研究[J].广东建材,2025,41(7):133-137.
- [2] 师翻宝.基于水泥土搅拌桩的建筑软土地基加固技术探讨[J].产品可靠性报告,2025(6):127-128.
- [3] 王磊,王丹,冯富霞.水泥土搅拌桩承载性能分析[J].工程技术研究,2025,10(12):107-109.

(责任编辑 张玉燕)