

Research on the Application Effect of Steel Sheet Pile Rotary Jet Grouting Composite Support Structure in Pipe Jacking Operation Foundation Pit in Water-rich Sand Layer

Junqiang Wen Quan Li Wei Du Tong Zhang Weipeiwen Kong

China Power Construction Corporation Northwest Institute of Survey, Design and Research Co., LTD., Xi'an, Shaanxi, 710000, China

Abstract

In order to study the application effect of steel sheet pile-rotary piling composite support structure in water-rich sand layer of pipe jacking pit, this paper combines an example of pipe jacking project in Foshan City, Guangdong Province, systematically analyses the geological and hydrological conditions of the project, and describes in detail the steel sheet pile and high pressure rotary piling construction process, key technologies and quality control measures. The settlement and horizontal displacement monitoring points were set up on site to continuously track the deformation development pattern of the foundation pit. The results show that the composite support structure has good water stopping effect, the surface settlement of the foundation pit and the horizontal displacement of the support structure are small and tend to be stable, and the overall support performance is excellent. The results verify the effectiveness of the coordinated support of steel sheet piles and high-pressure rotary piles, which is of great value and significance for the construction of pipe jacking well pits under complex geological conditions such as water-rich sand layer.

Keywords

water-rich sand layer; composite support structure; construction process; application effect analysis

钢板桩旋喷桩复合支护结构在富水砂层中顶管作业基坑的应用效果研究

文军强 李权 杜威 张桐 孔维沛雯

中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司, 中国·陕西 西安 710000

摘 要

为研究钢板桩-旋喷桩复合支护结构在富水砂层中顶管井基坑中应用效果, 本文结合广东省佛山市某顶管工程实例, 系统分析项目地质与水文条件, 详细阐述了钢板桩及高压旋喷桩施工工艺、关键技术及质量控制措施。通过现场布设沉降与水平位移监测点, 持续跟踪基坑变形发展规律。结果表明: 该复合支护结构在富水粉细砂层中顶管作业效果良好, 基坑地表沉降与支护结构水平位移均较小且趋于稳定, 整体支护性能优异。研究结果验证了钢板桩与高压旋喷桩协同支护的有效性, 对富水砂层等复杂地质条件下顶管井基坑施工具有重要的工程应用价值与推广意义。

关键词

富水砂层; 复合支护结构; 施工工艺; 应用效果分析

1 引言

随着城市地下空间开发的快速推进, 顶管施工技术在市政工程中得到了广泛应用。然而, 在富水砂层等复杂地质条件下进行顶管井基坑施工, 常常面临地下水位高、地层渗透性强、易涌水流砂等诸多难题^[1]。传统单一支护体系止水效果有限, 易引发基坑涌水、砂层流失等施工风险^[2]。钢板桩-旋喷桩复合支护结构兼具刚性围护与土体加固双重优势, 能

够有效提升基坑止水能力与结构稳定性, 近年来在复杂顶管基坑施工中逐步推广应用^[3-4]。然而, 该复合支护结构在富水粉细砂层顶管井基坑中的适用性尚缺乏工程实证。

基于此, 本文以广东省某顶管工程为工程背景, 针对富水粉细砂层渗透性强、施工风险高的特点, 采用钢板桩-旋喷桩复合支护结构作为顶管作业基坑支护, 结合现场变形监测数据, 全面评估复合支护结构的现场应用效果, 验证其止水性能与支护稳定性, 为类似地质条件下顶管井基坑施工提供有益参考与技术支持。

2 工程概况

本项目位于广东省佛山市, 地处三角洲冲积平原区,

【作者简介】文军强 (1994-), 男, 中国甘肃礼县人, 硕士, 工程师, 从事岩土与地下工程研究。

区域内地下水位较高且水位受季节性变化显著影响。据勘察,场地常年地下水位埋深约为2.50~3.10m,施工期间处于汛期,地下水位上升至约1.20m,地下水对基坑施工安全影响显著。地层由杂填土、粉细砂层组成,杂填土层分布于地表,含有大量建筑垃圾、碎石及其他杂质,填土不均,力学强度低,结构松散;粉细砂层整体呈松散至稍密状态,为近年来的吹填砂地层,处于饱和或接近饱和状态,具有渗透性强、抗剪强度低、可液化等特性,顶管井开挖过程中极易发生涌水、流砂及砂层流失等风险,是施工控制的重点难点。

项目基坑深度8.76m,设计采用15m IV型拉森钢板桩作为基坑主体支护结构,钢板桩外侧增设一排Φ600高压旋喷桩止水帷幕,有效阻隔地下水渗流。为进一步提升顶管施工安全性,防止顶推过程产生的反力对后墙背及支护结构造成破坏,设计在后墙背侧增设一排12m长高压旋喷桩加强加固,同时在顶管穿墙位置增设两排4m长高压旋喷桩,重点加固洞口周边土体,整体形成多层次复合支护体系,具体如图1所示。

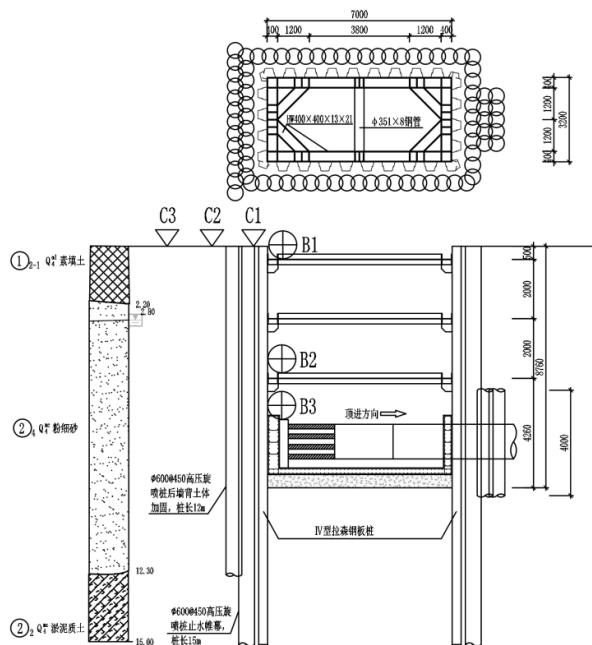


图1 基坑复合支护示意图

3 钢板桩-旋喷桩复合支护结构施工工艺

针对富水粉细砂层渗透性强、地下水丰富、易涌水流砂等施工难题,本项目钢板桩-旋喷桩复合支护结构的施工工艺流程如下:

3.1 钢板桩施工工艺

钢板桩施工采用振动沉桩法,利用振动锤将钢板桩沿设计桩位逐根垂直沉入土体,振动力量需根据现场地层条件合理调整,避免对周边结构物及地表沉降产生不利影响。沉桩过程中必须严格控制钢板桩垂直度,单桩垂直偏差不得超过1%,沉桩顺直性要求高,防止钢板桩在沉设过程中发生侧移、歪斜或咬合不良。桩间咬合必须紧密,避免形成渗水

通道,影响止水效果。钢板桩围护完成后,必须重点检查闭合段桩缝的咬合密实情况。闭合段往往是钢板桩止水性能的薄弱点,必须采取有效加压沉桩或密封材料填缝等工艺,确保闭合段无明显缝隙,避免渗漏水问题。闭合处理完成后,应对围护结构整体密闭性进行系统检查,确保支护结构整体连续、止水可靠。

3.2 高压旋喷桩施工工艺

高压旋喷桩作为本项目基坑复合支护体系的重要组成部分,主要用于形成连续止水帷幕,并加固顶管后墙背侧及穿墙洞口周边土体。针对富水粉细砂层渗透性强、易流砂等特点,施工过程中必须严格控制工艺参数,确保桩体质量、成桩连续性与止水效果。在钢板桩施工完成并通过验收后,进入高压旋喷桩施工阶段。高压旋喷桩采用单管法施工,喷射压力40MPa;喷头转速控制在20r/min;喷头提升速度设定为10cm/min,水灰比1:1,水泥掺量为每延米130kg,同时加入5%的水玻璃速凝剂,以缩短浆液的凝结时间并增强其抗冲刷能力,从而提高桩体的整体质量和稳定性。

止水帷幕桩沿基坑外围布置,采用直径600毫米的高压旋喷桩,桩长为15米,桩间咬合宽度为150毫米,形成连续封闭的止水帷幕;后墙背加固桩设置于顶管后墙背外侧,桩长12米,通过加固周边土体以抵抗顶管施工过程中产生的顶推反力;顶管穿墙处加固桩为两排桩长4米的旋喷桩,重点加固洞口周边的土体结构,确保洞口顶管进出洞作业的安全性。

4 现场应用效果分析

4.1 现场监测方案

为全面掌握钢板桩-旋喷桩复合支护结构施工过程中的地基变形与支护效果,对地表及桩体位移进行实时监测,地表沉降沿基坑边缘外侧布设,间距为1m,共设置3个测点(编号为C₁、C₂、C₃),支护结构的监测位置分别布设在支护结构的顶部、中部及1/4高度位置(编号为B₁、B₂、B₃),如图1所示,监测时间为复合支护结构施工完成后120h(顶管作业期),监测频次为每5h进行一次数据采集。

4.2 监测结果分析

4.2.1 基坑地表各测点沉降发展

采用钢板桩-旋喷桩复合支护结构施工结束后120h,基坑地表各测点沉降变化规律如图3所示。

由图3可知,基坑地表各测点沉降均呈现随着监测时间而逐渐增大,最终趋于稳定,这是由于基坑开挖初期土体应力迅速释放,导致支护结构及周边土体产生较大初始变形;随着施工进度推进,支护结构逐步发挥作用,围护体系的刚度和止水效果有效控制了基坑周边土体位移,沉降速率逐渐减缓。后期沉降趋于稳定。

进一步分析发现,C₁测点沉降最终趋于11.18mm;C₂测点沉降最终趋于12.17mm;C₃测点沉降最终趋于13.08mm,表明地表沉降从基坑边缘向外逐渐递减,这是由于基坑开挖过程中,靠近基坑边缘的土体首先释放应力,受

支护结构约束较强,变形空间有限,导致沉降相对较小;而距离基坑边缘较远的区域受支护结构的约束作用逐渐减弱,土体受扰动范围较小,但沉降影响传递相对滞后。同时,基坑周边地层渗透性较强,地下水的动态调整也可能使远离基坑的区域沉降更为敏感,但基坑地表各测点沉降均较小,说明钢板桩-旋喷桩复合支护结构受力状态良好,整体变形处于可控范围,施工对周边环境的影响较小。本项目复合支护结构设计合理、施工工艺有效,具备良好的现场应用效果。

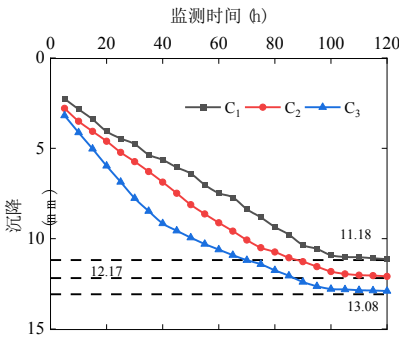


图3 基坑地表各测点沉降发展

4.2.2 支护结构水平位移发展

采用钢板桩-旋喷桩复合支护结构施工结束后120h(顶管作业期),支护结构各测点水平位移变化规律如图4所示。

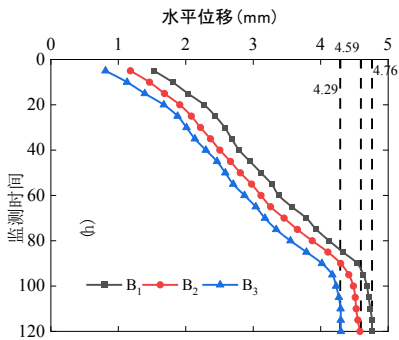


图4 支护结构水平位移发展

由图4可知,支护结构各测点水平位移随着监测时间而逐渐增大,最终趋于稳定,这是由于基坑开挖过程中,土体应力重新分布,支护结构受到侧向土压力、地下水压力及施工扰动等多重因素的共同作用,导致支护结构在初期阶段产生较为显著的水平位移。随着基坑降水有效进行、土体固结完成以及高压旋喷桩止水帷幕逐渐形成整体,支护结构逐步进入新的平衡状态,变形发展趋缓。

进一步分析发现,B₁测点水平位移最终趋于4.76mm;B₂测点水平位移最终趋于4.59mm;B₃测点水平位移最终趋于4.29mm,支护结构水平位移从上到下逐渐增大,这是由于在基坑开挖过程中支护结构顶部受土体反力约束较小,易产生较大水平位移;而支护结构下部深埋于土体中,受周围土体侧向约束较强,位移发展受限。此外,高压旋喷桩止水帷幕对下部土体的加固与约束作用明显,进一步限制了深层支护结构的侧向位移。

整体来看,采用钢板桩-旋喷桩复合支护结构支护结构水平位移均较小,说明该复合支护体系具有良好的整体刚度和变形控制能力,能够有效抵抗土体侧压力和施工扰动带来的位移,保障基坑施工期间支护结构的安全稳定。同时,也表明钢板桩与高压旋喷桩协同工作效果显著,止水与支护功能兼顾,能够有效降低对周边环境的影响,适用于富水粉细砂层等复杂地质条件下的深基坑施工。

4.3 应用效果分析

通过本项目现场监测结果可知,钢板桩-旋喷桩复合支护结构在富水粉细砂层中的应用效果良好,支护结构变形受控,周边环境安全稳定,整体施工过程顺利,取得了良好的工程应用成果。

首先,基坑地表沉降监测结果显示,地表各测点沉降量较小,沉降发展过程平稳,最终沉降均趋于稳定,表明复合支护结构有效控制了基坑开挖引起的地层位移,降低了施工对周边道路、管线及建筑物的不利影响。同时,地表沉降呈现从基坑边缘向外递减的合理分布,符合基坑围护结构的受力和变形规律。其次,支护结构水平位移监测结果表明,各测点水平位移总体较小,结构变形缓慢且逐步稳定,位移从上到下逐渐增大,符合基坑侧壁受力传递及土体约束特性。钢板桩与高压旋喷桩联合形成的复合支护体系,充分发挥了刚性围护和止水加固的协同作用,确保了基坑施工期间支护结构的安全性及可靠性。

综上所述,采用钢板桩-旋喷桩复合支护结构在富水粉细砂层顶管基坑工程中的应用,具备良好的止水效果、优异的支护性能和较强的施工适应性,对类似工程具有重要的参考和推广价值。

5 结语

本文针对富水砂层地质条件下顶管井基坑施工中存在的涌水、流砂及基坑变形控制难题,系统分析了钢板桩-旋喷桩复合支护结构的应用效果。项目研究结果验证了该支护体系优良的止水性能与支护效果。现场监测数据显示,基坑地表沉降较小且趋于稳定,支护结构水平位移控制良好,整体变形符合基坑施工变形规律,有效保障了施工安全,显著降低了对周边环境的影响。钢板桩与高压旋喷桩协同受力,充分发挥了刚性围护与土体加固的双重优势,整体支护效果优越。研究表明,该复合支护体系适用于富水砂层等复杂地质条件,具有良好的应用前景和推广价值。

参考文献

[1] 梁宁慧,兰菲,庄炀,等.城市地下综合管廊建设现状与存在问题[J].地下空间与工程学报,2020,16(06):1622-1635.
[2] 郑刚,朱合华,刘新荣,等.基坑工程与地下工程安全及环境影响控制[J].土木工程学报,2016,49(06):1-24.
[3] 张朗.顶管工作井深基坑拉森钢板桩施工变形分析[J].工程技术研究,2025,10(03):30-32.
[4] 张蕾.拉森式钢板桩在顶管工程深基坑中应用[J].水利科学与寒区工程,2025,8(04):134-136.