

Application of deep foundation pit in Pudong Star environment miniature pipe jacking project

Yu Zheng

State Grid Shanghai Electric Power Company Pudong Power Supply Company, Shanghai, 200120, China

Abstract

With the continuous acceleration of the urbanization process, how to ensure the safety and field operation efficiency of the foundation pit construction of the power line pipe jacking project, reduce the impact of groundwater inside the rock and soil layer, and realize the effective control of water leakage sand has become the focus of practitioners and related technicians. Modern infrastructure construction, deep foundation pit project increasing, and face complex geological conditions, especially the Shanghai tidal ping landform area, the area has a wide range of deep sandy silt layer, often lead to leakage sand phenomenon, steel plate pile and rotary spray pile, to solve the problems to provide an effective technology. This paper aims to discuss the seepage stability analysis, construction requirements and engineering cases of steel sheet pile and rotary jet pile against water leakage sand, and summarize the construction experience of water stop complex, in order to provide reference for related projects.

Keywords

water stop curtain; rotary spray pile; steel sheet pile; flowing sand

浦东星境微型顶管项目深基坑防治漏水流砂的应用论述

郑瑜

国网上海市电力公司浦东供电公司, 中国·上海 200120

摘要

随着城市化进程的不断加快, 如何保障电力线路顶管工程项目基坑施工的安全性与现场作业效率, 减少岩土层内部地下水造成的影响, 实现对漏水流砂的有效控制现已成为从业者以及相关技术人员需要关注的焦点。现代化基础设施建设中, 深基坑工程项目日益增多, 且面临复杂的地质条件, 特别是上海的潮坪地貌区域, 该区域有大范围的深厚砂质粉土层, 常导致漏水流砂现象, 钢板桩和旋喷桩的结合使用, 为解决上述问题提供一种有效的技术手段。本文旨在探讨钢板桩与旋喷桩防治漏水流砂的抗渗流稳定性分析、施工要求和工程案例, 总结止水复合体施工经验, 以为相关工程提供参考。

关键词

止水帷幕; 旋喷桩; 钢板桩; 流砂

1 引言

本工程为上海浦东星境 110kV 输变电工程(线路)的 A01#、A02# 工井深基坑工程, 现场存在较厚砂质粉土层, 该层土的渗透系数较大, 易有漏水流砂现象。项目现场线路工井之间采用微型顶管进行连接, 周边地质环境较为多变, 管线布局较为复杂, 作业空间较为狭小, 需要及时采取措施对场地内部的漏水流砂现象进行管控与处理, 减少其对于周边施工场地造成的影响。在以往的复杂地质条件下深基坑围护施工作业过程当中, 为了达成良好的作业目标, 确保围护结构的整体性与综合强度, 避免周边环境对其造成的影响, 通常采用常规钢板桩施工方案进行加固作业, 但受制于基坑围护方案技术特点以及现场施工场景等因素的影响, 导致场

地内部可能出现严重的渗流漏砂等情况, 对于场地稳定性、地表安全性以及现场施工效率均可能会造成一定冲击。为解决上述问题, 使深基坑项目现场施工工艺能够最大限度适应场地地质环境特征, 解决以往钢板桩围护施工过程中所面临的工艺性挑战, 故本次基坑围护方案在钢板桩外侧补充施工旋喷桩, 整体形成止水复合体, 通过对止水复合体的抗渗流稳定性分析, 明确施工要求^[1], 并结合本案例, 表明止水复合体有效防治漏水流砂现象。案例项目位于钢板桩围护结构外侧增设单排高压旋喷桩, 并将桩体打入现场场地内部稳定地层当中, 实现了连续止水帷幕的建设施工, 有效填补了钢板桩围护结构衔接联动过程当中单桩桩体之间产生的锁扣间隙, 保障了围护结构整体的抗渗流性能, 同时还分担了深基坑内部土层的侧向压力, 减少了深基坑现场施工过程中可能出现的柱间坍塌与地面沉降现象。与传统单一的止水方案相比, 该工法具有渗透控制能力突出、全生命周期成本较低、维护费用较少、对周边环境影响有限等优势, 具备一

【作者简介】郑瑜(1983-), 女, 中国上海人, 本科, 高级工程师, 从事电力研究。

定的推广价值^[2]。

2 工程概述

星境线路工程位于上海市浦东新区，计划从现有的220kV临港站新放2回110kV电缆、2根48芯光缆敷设至规划110kV星境站。

本工程拟在220kV临港站的东侧新建A01#、A02#工井，两个新建工井之间分布有较多地下管线，且各管线沿深度方向的布置较复杂，导致施工空间严重不足，故两个工井采用过渡井的结构，工井之间的连接采用φ1200微型水平顶管，顶管长度为132.1m。

A01#、A02#两个工井对应的基坑面积均为104.0m²，

周长均为55.0m，开挖深度均为3.60m~6.90m，故基坑安全等级为三级，周边环境保护等级为二级^[3]，需要做出针对性的基坑围护设计施工。

3 工程地质

根据勘察报告的地层情况，基坑围护施工影响深度范围内土层主要为①层、②-3层及④层土（见表1）。

本次勘察期间，实测取土孔内的潜水稳定水位埋深约1.00m~1.50m，标高为2.79m~3.14m。因此本工程的潜水地下水位埋深按不利因素考虑，高水位埋深值可取设计室外地坪下0.5m，低水位埋深值可取设计室外地坪下1.5m。

表1 各土层力学性质参数表

层号	土层名称	厚度	重度	直剪固快		渗透系数
		ΔH (m)	γ (kN/m ³)	粘聚力C (kPa)	内摩擦角φ (°)	K (cm/s)
①	杂填土	3.0	18.0	8.0	10.0	-
②-3	砂质粉土	11.7	18.5	5.8	27.1	9.0E-04
④	淤泥质粘土	4.3	17.1	11.9	11.6	9.0E-05

4 方案概述

针对工井基坑，原围护方案常采用拉森钢板桩作为围护结构，结合水平支撑，并采用高压旋喷桩加固坑底。具体的支撑结构见图1所示。

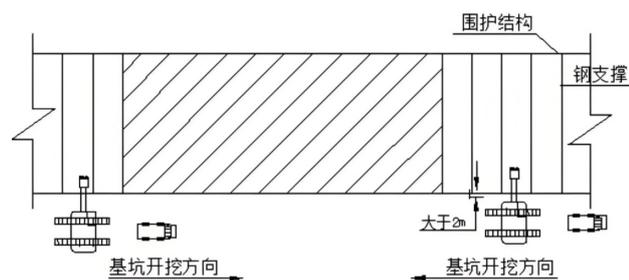


图1 常规基坑围护支撑结构

但考虑本工程的最大深度为6.90m，若仅依赖拉森钢板桩之间的锁扣搭接，很难形成理想的隔水效果，钢板桩漏水情形为两类：①锁口劈开、薄弱部位、止口调整部位产生较大缝隙漏水；②钢板桩无法连续施工产生缺口漏水^[4]。而现场分布有②-3层砂质粉土，该土层厚度达到11.7m，且渗透系数较大，地下水流过快，较大的动水压力易造成流砂现象，地下水从裂缝处流出，尤其在砂层中，会伴随细小颗粒流出，细小颗粒被持续带出后，会造成桩间坍塌，也会造成该部位以上地层下沉，在桩顶后形成空洞^[5]，且一旦漏水很难封堵，因此需采取措施，补强隔水效果。

高压旋喷桩作为上海常用的隔水型式，能在设计深度范围内保证连续，在平面范围内做到封闭，其自身强度高于一般水泥土搅拌桩，且抗渗性能较好，其止水关键是把控桩与桩之间的咬合搭接长度，使搭接的高压旋喷桩形成止水帷幕，以阻挡地下水流动^[6]，故在拉森钢板桩的外侧补充施工单排φ800@500高压旋喷桩。

通过补充施工旋喷桩，一方面，旋喷桩有效封堵钢板桩之间的薄弱处，使钢板桩发挥止水作用，另一方面，高压旋喷桩是承受外力作用下，使土体增加屈服应力的加固一种措施，可视其为刚性的物体，在一定程度产生了应力的扩散效应，以降低对支护结构的土压力。因此，旋喷桩和钢板桩之间可以有效联合，形成止水复合增强体，确保基坑不发生漏水、流砂现象，并由计算确保渗流稳定性满足要求。

综上所述，本工程在常规方案（拉森钢板桩+水平支撑+旋喷桩坑底加固）基础上，在拉森钢板桩外侧补充施工旋喷桩形成止水复合体，作为防治漏水流砂的方案。

5 计算过程

本工程的杂填土埋深约为3.0m，由于该层土地下水的作用较小，钢板桩能够有效隔水，因此施工旋喷桩的桩顶起始深度优化后为3.0m。

旋喷桩的桩底深度取为18.0m，因此桩长为15.0m，根据《上海市基坑工程技术标准》（DG/TJ 08-61-2018），基坑围护相关抗渗流稳定性计算如下：

$$\gamma_s \cdot i \leq (1/\gamma_{RS}) \cdot i_c \quad (1)$$

其中： γ_s ：渗流作用分项系数，取1.0；

γ_{RS} ：抗渗流分项系数，由于本工程坑底土为砂质粉土，因此取为2.0；

i ：坑底土的渗流水力梯度， $i = (6.9+1.0) / (2 \cdot 11.1 + 1.2+3.4) = 0.294$ ；

i_c ：底土体的临界水力梯度， $i_c = (2.7-1) / (1+0.871) = 0.909$ ；

由于 $1.0 \cdot 0.294 \leq (1/2.0) \cdot 0.909 = 0.455$ ，因此止水复合体的桩长为15.0m（桩顶深度3.0m，桩底深度为18.0m）时，抗渗流稳定性计算满足规范要求。

6 施工要求

①施工止水复合体时,应合理规划先后施工顺序,先设计拉森钢板桩,后施工外围旋喷桩,两者有效结合,形成止水结构。②旋喷桩的施工质量与坑底加固施工的旋喷桩要求一致,其无侧限抗压强度不应低于1.2MPa。③施工旋喷桩时,可先利用膨润土泥浆旋喷成桩,其用于控制流砂地层的土压力、维持孔壁稳定及起到隔水效果,泥浆黏度宜控制为21.8s,泥浆密度宜控制为1.018g/cm³。④拉森钢板桩与旋喷桩的成桩垂直度应保持一致,本工程明确两者的成桩垂直度均不大于1/100,并确保止水复合体之间紧密搭接。⑤围护施工时应注意保护周边环境,确保不利影响程度降至最低。

在现场施工作业过程中,应严格遵循设计施工顺序与间隔时间,同时采用BIM建模技术针对桩体施工作业状态进行碰撞检测,确保高压旋喷桩与钢板桩外侧之间的间距控制符合技术规定与设计要

求。现场施工过程当中,应建立起系统化的三检一控制制度要求,分别组织施工班组自检、监理旁站抽检以及第三方机构检测等相关检测工作,针对桩体围护结构的完整性进行有效监管与及时反馈,对现场可能存在的问题进行有效解决。检测过程当中,应针对高压旋喷桩之间的搭接厚度进行测量,确保其达到设计要求阈值,进一步规避现场施工过程中可能出现的渗漏风险。对于可能存在的潜在渗漏位置,应布设相应的袖阀管,并采用速凝水泥等相关材料进行应急处理,同时组织专业力量对现场关键监测点位进行抽检控制,当出现渗漏现象时,应及时进行预警,减少渗漏对于基坑部位施工产生的影响与威胁。

7 效果评价

A01#、A02#工井在基坑施工全过程中未发生漏水流砂现象,且抗渗流效果稳定,基坑开挖后现场作业环境良好,当前工程已顺利完成(见图2和图3)。从项目现场的表现状态来看,钢板桩与高压旋喷桩之间形成了连续帷幕支护结构,使深基坑内部围护结构的渗透系数呈现显著下降的趋势,单位长度渗流量得到了有效控制。与此同时,在案例项目现场的砂质粉土层施工过程中,实现了对渗流长度的进一步延长,抑制了水、砂的渗流速度,使基坑内部的变形控制效果得到了进一步展现,同时提升了现场渗漏防治方案的经济效益,具备一定的推广价值。

8 工程总结

本工程通过在钢板桩外侧补充施工旋喷桩,将两者结合为复合体,能够有效防止基坑漏水流砂事故的发生,确保周边环境的安全^[7]。复合体中的旋喷桩作为刚性桩体,可以分担部分主动土压力,对钢板桩的受力和变形积极优化,因此具有良好的社会和经济效益。在未来工程中,应进一步确定止水复合体的应力分布规律,使该结构能够更为广泛的应用^[8]。



图2 A01#工井基坑现场图



图3 A02#工井基坑现场图

参考文献

- [1] 徐文矿.岩溶地区深基坑渗漏原因及处理措施[J].居舍,2019(13):168.
- [2] 刘阳.城市地铁深基坑施工漏水原因分析与预防[J].低碳世界,2017,(9):192-193.
- [3] 袁淑文,薛毅,冯月良,等.高压旋喷桩与拉森钢板桩组合在综合管廊深基坑中的应用[J].施工技术,2018,47(S1):248-251.
- [4] 刘选朋,秦国栋,马世敏,苏铁志,郭永胜,闫洪铭.受多层地下水影响的深基坑病害的解决方案探讨[J].岩土工程技术,2023,23(5):623-630.
- [5] 梁晟,王晓磊,张建英,于庭富,张泽浩.旋喷桩止水帷幕对拉森钢板桩变形的影响分析[J].粉煤灰综合利用,2024,38(1):119-127.
- [6] 李龙山,文木,尹奇等.高压旋喷桩在流砂地质基础中的应用分析[J].江西建材,2022,03:148-149.
- [7] 梁晟,王晓磊,张建英,于庭富,张泽浩.旋喷桩止水帷幕对拉森钢板桩变形的影响分析[J].粉煤灰综合利用,2024,38(1):119-127.
- [8] 刘少林,周书东,徐钦明.高压旋喷桩在流砂地层中的施工技术[J].中国水利水电科学研究院学报,2022,20(8):67-72.