

N-jet 超高压旋喷桩在市域铁路软土高承压水超深基坑封底止水的应用研究

徐云龙

中交隧道工程局有限公司

摘要: 随着我国基建事业的不断发展, 根据工程需要基坑开挖深度越来越深, 基坑承压水治理及抗突涌验算要求越来越高, 本论文以上海轨道交通市域线机场联络线软土高承压水超深基坑封底止水施工为例, 通过N-jet工法桩隔断基坑底以下的承压水层, 降低基坑底以下承压水的压力, 防止基坑突涌的现象发生, 解决了上海软土高承压水超深地层基坑封底难的问题, 通过总结设计及施工技术控制要点, 对N-jet止水桩应用及效果进行研究。

关键词: 市域铁路; 高承压水; 基坑突涌; 封底; N-jet止水桩

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.03.037

一、研究背景

近年来, 随着我国基础设施建设快速发展, 城市 and 环境保护对基坑围护止水帷幕施工技术 & 工艺的要求越来越高标准, 以及地质和环境条件的限制, 传统的旋喷施工工艺, 愈来愈不适应工程质量要求高、工期紧、工程量大、环保要求高的施工需要。先期引进的RJP、MJS工法, 适应了上述综合发展的需求, 但在国内外超深基坑越来越深, 现有的工艺无法满足超深基坑的施工需求。

本文研究背景为上海轨道交通市域线机场联络线施工8标6号风井, 基坑开挖深度超35m, 跨越多个土层, 基坑开挖主要处于淤泥质黏土与粉质黏土中, 降水井施工完成后进行抽水试验, 日排水量达到25000m³, 超勘察报告中关于承压水排水量一个数量级, 承压水头降深达不到设计要求, 不能满足基坑开挖抗突涌验算要求。而由于超深基坑跨层较多, 地下水系之间连通情况不明, 因此常规围护结构存在无法将其完全隔断的现象, 从而井内无法形成封闭的开挖环境, 给基坑开挖施工带来了较大的风险。

二、工程概况

(一) 结构设计概况

本工程为上海轨道交通市域线机场联络线工程JCXSG-8标段, 线路全长约8.16km, 含两座风井及两段盾构区间, 其中6#风井主体基坑长度30.6m, 宽度25.60m, 基坑开挖深度为35.326m, 基坑采用明挖法施工, 支护形式采用1200mm厚地下连续墙+内支撑形式, 地下连续墙66m, 插入⑦2层20m, 工字钢接头, 并设置直径2.4mRJP桩进行墙缝止水, 加固至地墙底。在地下连续墙底设N-jet隔水层, 使地下连续墙与N-jet隔水层共同形成密闭的整体, 以减少基坑内降水对周边的影响。

(二) 工程地质条件

场地属于古河道沉积区域, 成因类型及工程性质特征自上而下可划分为8个大层和若干亚层, 其中第①1层为填土层、①2层浜底淤泥, 第②1~⑤41层为全新世Q4沉积层, 第⑦2~⑨1层为晚更新世Q3沉积层, 第⑤31层~⑤41层为古河道沉积层。

(三) 工程水文条件

拟建场地揭露的地下水分为赋存于浅部土层中的潜水、下部赋存于⑦2+⑨粉砂层中的承压水, 据上海地区经验, 承压水位一般低于潜水位, 年呈周期性变化, 埋深3.0~12.0m。勘察期间承压水位埋深为4.9m, 相应标高为-0.81m, 根据本工程临近勘探孔JZ-IV19-40219(距离本工程点仅35m)地层资料显示, 场地⑦2、⑨层连通, 故该水位可视为⑨层承压水水位。

(四) 周边环境情况

6号风井为上海轨道交通市域线机场联络线工程张江站~度假区站区间盾构过井, 工点位于上海浦东新区沪芦高速(外环沪芦高速立交)西侧约130m, 沪芦高速宽36.35m, 道路下方管线密布, 存在风险较高的次高压煤气及原水管等。基坑东侧60.8m为架空高压线(顾远线, 500KV, 36根, 悬空66.62m), 基坑距离高压铁塔基础201.8m。

(五) 施工难点及重点

1) 垂直度要求极高: 根据设计要求, 本工程大直径旋喷桩要求成孔垂直精度不大于1/250, 超过常规标准1/100, 成孔难度非常大。

2) 超大深度超大直径: N-Jet桩最大深度达65m, 成桩直径要求3.5m, 喷射地层的土质N值较大, 最小在42击, 最大在83击左右, 平均达60击, 地层N值的变化幅度大对喷射形成的桩径有一定影响;

3) 地下连续墙边及三轴加固区引孔难度大: 考虑N-Jet成孔在三轴搅拌桩加固区, 成孔垂直度很难满足要求, 同时根据设计图纸, 桩位中心最小离地墙500mm成孔, 地墙出现鼓包时很难满足垂直度要求;

4) N-jet施工桩需连续施工: 因考虑旋喷施工必须连续施工不得间断, 开工前需办好夜间施工手续, 确保大直径旋喷桩一次成型。

5) N-jet桩与地下连续墙咬合度控制难度大: N-jet工法桩作为工作井底部的止水帷幕与地墙形成侧面的止水帷幕之间必须无缝贴合, 不能存有渗漏通道, 才能达到封底止水的效果, 地墙本身垂直度、是否存在空鼓、N-jet桩是否内偏等因素均会造成咬合质量达不到要求。

三、N-jet 止水桩施工技术与应用

(一) N-jet 止水桩施工原理及技术参数要求

(1) 施工原理

超高压喷射搅拌成桩(墙)止水帷幕N-Jet工法(以下简称N-Jet工法)是通过钻管(杆)连接特殊喷浆装置(钻头)全方位旋转或角度旋转、向上提升、变换提升等方法结合多喷嘴多角度喷射切削土体(喷射角度0~360°、垂直自由设定),通过水泥浆液的高压喷射切削土体,将切削土体与浆液混合搅拌,凝固后可形成圆形、扇型、网格状圆形、网格状扇形的桩体形状,同时配有一套国际先进智能化、数字化的施工管理装置,对浆、气、水流量及施工时地内压力实时监控,对周边扰动微小,特别是对于复杂敏感地质成桩(墙)、止水帷幕及加固效果好。本工法基本隔断了基坑底以下的承压水层,降低基坑底以下承压水的压力,防止基坑突涌的现象发生,解决了上海软土高承压水超深地层基坑封底难的问题。



(2) 技术参数要求

- ①N-JET桩直径3.5m、厚度5m、桩中心距2.2m,搭接1.3m,桩底标高为-61.000m、桩顶标高为-56.000m;
- ②水泥用量: N-JET桩水泥掺入量初拟值 $\geq 40\%$,水泥等级 ≥ 42.5 普通硅酸盐水泥;
- ③水泥浆压力: 40 ± 2 MPa,浆液流量: 200-220L/min;
- ④切削水压力: 20 ± 2 MPa,切削水流量: 50L/min;
- ⑤空气压力: 1.3-1.8 MPa,空气流量: 3-10m³/min;
- ⑥浆液喷射钻杆提升速度: 60min/m;
- ⑦成桩垂直度误差: $\leq 1/250$;
- ⑧经加固的土体应有很好的均质性、自立性,其中28天无侧限抗压强度不小于1.2MPa。渗透系数 $\leq 1 \times 10^{-7}$ /cm/sec。垂直度应严格控制在1/250内,孔位偏差不得大于20mm。N-JET超高压旋喷桩应在施工前根据地层类型进行成桩试验获得相关工艺参数。

(二) N-jet 止水桩施工

(1) 施工流程

测量放线→引孔→垂直度检查→下放套管→主机就位→下放钻杆→高压水和空气喷射试验→水泥浆液、高压水和空气喷射注浆提升→喷射结束成桩结束→清洗(套管)钻杆→移到下一桩位。

(2) 试桩参数

N-JET成桩有效直径是根据土层地质情况以及施工条件所决定的,根据地质物理特性参数确定喷射时间及压力,本工法设计单桩有效直径为3500mm,本次试

桩拟定1根桩,试桩采取坑内原位试桩方式,水泥采用P042.5硅酸盐水泥,具体技术参数见下表。

表 3.2.1 试桩参数表

序号	内容	参数
1	桩径	Φ 3500
2	水灰比	1: 1
3	水泥浆压力	40±2Mpa
4	主空气压力	1.3 ~ 1.8Mpa
5	主空气流量	3 ~ 10m ³ /min
6	垂直度	$\leq 1/250$
7	水泥掺量	45%
8	提升速度	50m/min
9	水泥浆浆液流量	200 ~ 220L/min
10	转速	2 ~ 4r/min
11	步距行程	50mm
12	步距提升时间	150s

(3) 试桩结果

试桩强度及抗渗性均符合要求,成桩垂直度 $0.23/60=3.8\%$, $\leq 1/250$,满足要求,成桩直径满足3500mm要求,单轴抗压强度平均值约2.8Mpa,符合要求,取芯如下图所示:



中心取芯芯样 3m (预留桩底 2m 不取穿)



离桩中心 1.2m 取芯芯样 3m (预留桩底 2m 不取穿)

(4) 施工质量控制要点

①成孔前

先平整引孔钻机架放场地,按照设计要求进行测量

放线,并用竹签或短钢筋标出桩位,且将控制桩引到安全区域以便复核校验.开挖沟槽时,清除桩位处地上、地下2.5m范围内一切障碍物包括大块石.引孔钻机就位对中,调整动力头部位水平,钻杆旋转部位垂直。

②成孔过程中

随时注意观察钻机的工作情况,钻孔垂直度控制在设计要求的1/250 以内,每根桩加固土中每10m检测一次.原始土每20m检测1次。

③N-Jet主机就位

N-Jet主机安放后,用自身油缸进行调平,并用水平尺对动力头部位进行水平校核.且使用铅锤绳对动力头旋转中心与桩孔中心进行对中,另用控制桩对钻头底部中心位置进行校核。

④下放N-Jet喷浆杆

拼接喷浆时,每节与下节的连接螺栓应紧固可靠,保证钻杆内部各管道的连接密闭可靠有效.下放钻杆时,应平稳缓慢下放,可用铅锤绳检查钻杆的竖直情况.钻头下放前需对喷嘴进行试喷,保证后续施工喷浆的完好性。

⑤后台配浆

按照设计要求的水灰比1:1 制备水泥浆液,水泥浆液要在喷浆前制备好,且搅拌时间不得少于5 分钟,但不得超过2 个小时.喷浆过程中加强浆液比重检测,控制泥浆比重为 $1.5 \pm 0.02\text{g}/\text{cm}^3$ 。

⑥喷浆及供浆

根据参数要求设定前台主机各项运作参数。

⑦成桩

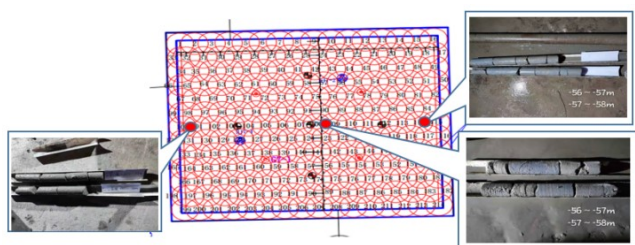
当喷浆提升至设计桩顶标高以上100mm时,即停止提升喷浆,前台操作人员及时通知后台关闭后台各设备.移机前用钢卷尺测量预留钻杆长度确定桩顶深度位置,是否符合设计要求。

⑧成桩质量检查

施工对N-Jet工法施工质量的检验,应在喷射注浆结束后28天,检查内容主要为加固区域内取芯试验,但考虑本工程N-Jet仅作为封承压水,为确保有效止水性能,取芯应进行压浆回填取芯孔。

四、N-jet 应用于超深基坑效果

6#风井封底完成后,进行封底取芯,位置分别为100与101桩位搭接、108与109桩位搭接、114与115桩位搭接,其中108与109搭接位置芯样存在蜂窝状,其他两个质量完好.目前基坑已经完成结构底板及侧墙的回筑施工。



五、施工建议

随着风井基坑的开挖,基底与地墙无明显渗漏水痕

迹,顺利开挖并完成底板混凝土浇筑,在基坑底部封底止水进行深基坑开挖方案是成功可行的.结合施工实践,对该工法作以下建议:

(1) N-jet工法桩咬合止水能力关键在于引孔成孔与垂直度控制,钻孔前复测钻杆垂直度,钻进过程中确保垂直处于垂直状态,随时检测钻杆垂直度,当出现微小偏差时及时纠偏,成孔钻头采用双向引孔钻头,确保成孔垂直度小于1/250;对有障碍物区域采用1-2m筒钻取芯钻进,确保成孔垂直度;

(2) 考虑地层N值的不确定因素,施工需充分考虑N值的影响,喷射直径的参数取值拟考虑N值在80击左右,确保超大喷射有效直径达到3.5m;

(3) 考虑与地墙的有效搭接,建议本工程墙缝止水根据成孔垂直度检测结果,并结合地墙成槽垂直度偏差,在地墙周边喷射时适当加大喷浆时间,确保与地墙的有效搭接;

(4) 碰到地墙塌孔鼓包时,采用跟管钻机引孔,跟管的护壁套管采用219mm钢套管,穿越鼓包区后更换200mm多导向钻头继续钻进引孔;

六、N-jet 止水桩工法应用前景

N-jet止水桩有成桩直径大,在本工程中达到了3500mm,成桩深度深,本工程达到了65m,泥浆排放量相对较小,对周边生态环境及管线影响较小,施工设备小,占用场地小,施工较灵活等特点,这就造就了此种工法可在多种环境中应用,如下:

(1) 适应地层:黏土层、粉砂层、砂层、卵石、碎石层、砂砾层、圆砾层、漂石层等复杂地质施工,除坚硬的基岩以外的地层均可适用;

(2) 最大直径可达8m-10m,最大深度110m以上的止水等加固,近年来,北京地铁、上海地铁及浙江地铁达到应用;

(3) 成桩形状多样性,加固的桩体形状有圆形、半圆形、扇形、条形、网格状形,可根据实际工况需要自由组合,且能够垂直、倾斜施工。

七、结语

在超深基坑工程中,首次通过N-jet、坑内裙边加固及坑内外降水及回灌解决上海软土超深地层基坑封底的难题,在解决了6#风井基底承压水压过大的基础上,达到了避免影响6#风井工期延期风险的目的,保证了机场线整体通车时间.本工法在机场线8标的成功实施,为上海市解决软土超深地层承压水问题提供了宝贵的经验,填补国内超深基坑高承压水防突涌这一技术难题,对后续基坑开挖施工有着重要的指导及借鉴意义。

参考文献

[1] 上海市轨道交通市域线机场联络线详细勘察6#风井岩土工程勘察报告【Z】.
 [2] 上海轨道交通市域线机场联络线工程JCSSG-8标6#风井N-jet工法桩封底止水施工方案.
 [3] 上海轨道交通市域线机场联络线工程施工图6#风井围护结构设计图(增设N-jet封底变更).
 [4] 超高压喷射搅拌成桩(N-jet)工法技术标准Q/DYB 003-2019