

N-JET 隔断风井基坑深层承压水的应用

孙双麓

(上海申铁投资有限公司, 上海市 200030)

摘要: 在风井基坑开挖的过程中, 承压水造成的影响不可忽视, 无论是基坑突涌、管涌还是基底隆起破坏, 都会给风井周围的地下管线和建筑物造成损害, 目前国内处理基坑承压水的方法主要分3类: 降压、隔水以及封底。当施工区域周边存在大量建筑物或管线, 仅依靠降压或封底等措施难以符合工程设计及规范的要求, 为保障安全性和技术可行性, 国内更倾向于同时采取隔离水源, 以有效控制承压水体。有必要探求一个稳定的隔断承压水方法。依托上海轨道交通机场联络线工程6号风井基坑工程, 验证了新兴工艺 N-JET 工法在隔断风井基坑深层承压水方面的可行性。

关键词: 风井; N-JET 工法; 隔断; 承压水; 稳定

中图分类号: TU753

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)05-0353-04

Application of N-JET in Isolating Deep Confined Water in Foundation Pit of Air Shaft

SUN Shuangchi

(Shanghai Shentie Investment Co., Ltd., Shanghai 200030, China)

Abstract: During the excavation of air shaft foundation pits, the impact of confined water cannot be ignored. Whether it is foundation pit surge, pipe surge or basement uplift failure, it will cause damage to the underground pipelines and building structures around the air shaft. Currently, the methods for treating the confined water of foundation pits in China are mainly divided into three kinds of pressure reduction, water isolation and bottom sealing. When there are many building structures or pipelines around the construction area, it is difficult to meet the requirements of engineering design and standards by taking the measures of pressure reduction and bottom sealing. In order to ensure the safety and technical feasibility, it is preferred to isolate water sources at the same time in China to effectively control the confined water. Therefore, it is necessary to explore a stable method for isolating the confined water. Relying the No. 6 air shaft foundation pit project of the Shanghai Rail Transit Airport Connection Line Project, the feasibility of the emerging process N-JET in isolating the deep confined water in the air shaft foundation pit is verified.

Keywords: air shaft; N-JET method; isolating; confined water; stable

0 引言

近年来, 我国城市轨道交通事业快速发展, 为满足工程需要, 深基坑风井逐渐成为了大直径轨道交通的主流设计。在风井基坑挖掘过程中, 需要高度关注承压水带来的影响, 无论是基坑突涌、管涌抑或基底隆起, 均可能对周边地下管线和建筑构筑物造成严重破坏^[1]。因此, 如何有效控制承压水一直以来都是深基坑风井施工中的关键挑战。

目前国内处理基坑承压水的方法大致可以分为3类: 降压、隔水以及封底。当施工区域周边存在大

量建筑物或管线, 仅依靠降压或封底等措施难以符合工程设计及规范的要求, 为保障安全性和技术可行性, 国内更倾向于同时采取隔离水源, 以有效控制承压水。如 TRD 工法^[2]、超深高压旋喷桩^[3]、超深三轴搅拌桩^[4]等。

超高压喷射搅拌成桩止水帷幕工法(N-JET 工法), 利用钻杆连接带有喷浆装置的钻头, 采用全方位回转或水平方向翻转、向上推进或改变倾角提升速度等方法, 并结合多喷嘴、多角度喷射, 以高压水泥浆液切削土体(喷射角度 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$, 垂直角度用户自行设定)。在切削过程中, 充分拌合浆液与被切割的土体, 待混合体凝固后可形成各种形态的桩体, 如圆形、扇形、网格状圆形以及网格状扇形等。该施工方法装备了先进的智能化、可视化、数字化施工管理

收稿日期: 2024-07-22

作者简介: 孙双麓(1985—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事市域铁路建设管理工作。

装置,能够实时监控浆液、气体、水流量以及土体中的压力,极大程度上减少施工对周边环境的扰动。在复杂和敏感的地质条件下尤为适用,且具有显著的加固效果。目前 N-JET 工法最大桩体可达 10 m,最大深度可达 115 m,能有效隔断承压水,普遍适用于超深基坑止水封底加固^[5]。

1 工程概况

上海市机场联络线 6 号风井位于张江站至度假区站之间,为隧道中间风井,平面布置见图 1。6 号风井的基坑宽度为 25.60 m,深度为 35.326 m。该基坑采用明挖法施工,采用 1 200 mm 厚的地下连续墙+内支撑对基坑进行支护,地下连续墙深度达到 66 m,并采用十字型钢板连接,在墙缝处安装直径为 2.4 m 的 RJP 桩以达到止水目标,加固深度至地连墙墙底。

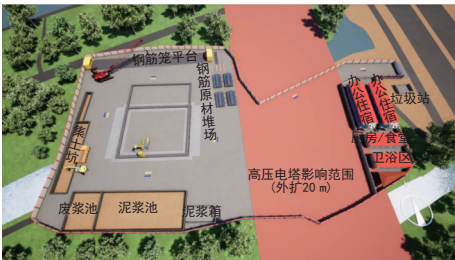


图 1 6 号风井平面示意图

由于 6 号风井的⑦₂层和⑨层承压水连通,此时 RJP 桩的墙缝止水不能达到正常的止水要求。因此,需要在地下连续墙底部设 N-JET 隔水层,与地下连续墙形成一个密闭的整体,减少基坑降水对周边环境的影响。

2 N-JET 工法施工

2.1 工法桩概况

为满足地基防水地目标,该工程施工采用 N-JET 工法桩,设计直径为 3 500 mm,中心间距为 2 200 mm,厚度为 5 m,所用水泥为 42.5 普通硅酸盐水泥,水泥掺量不少于 45%,水灰比为 1:1,桩身垂直度控制在 1/300 以内,孔位偏控制在 20 mm 以内。

2.2 设备配置及施工参数

考虑到大直径喷射技术参数及地质情况,结合超深工法桩成桩直径折减及垂直度等因素,本工程施工采用 4 台 SI50S-220N-JET 工法机,配置 300 L/min 及 150 L/min 高压注浆泵各 4 台、P200WCU 及 P75WCU 空压机各 3 台,先导引孔采用 4 台 44A 引孔钻机 24 h 作业先导引孔。根据设计要求及设备配置情况,N-JET 工法桩的施工参数列于表 1。

表 1 N-JET 主要施工参数

施工参数	技术指标	施工参数	技术指标
桩径/mm	3 500	辅助浆液压力/MPa	10~20
水灰比	1:1	垂直度控制	≤1/300
水泥浆压力/MPa	(40±2)	水泥掺量/%	≥45
水泥浆流量/(L·min ⁻¹)	200~220	提升速度/(min·m ⁻¹)	50
主空气压力/MPa	1.3~1.8	步距行程/mm	50
主空气流量/(Nm ³ ·min ⁻¹)	4.0~7.0	步距提升时间/s	150
膨润土浆液/(L·min ⁻¹)	56~60	转速/rpm	2~4

2.3 N-JET 工法桩施工方法

N-JET 工法施工单桩工艺流程见图 2,主要有 5 个步骤:引孔→安装喷射浆杆并下沉→进行喷浆作业→形成桩体→清洗。

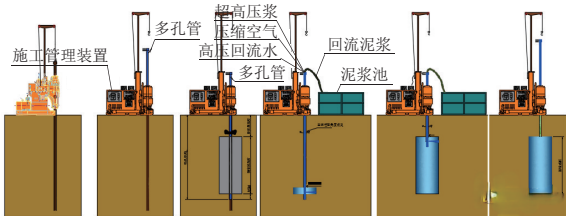


图 2 单桩施工流程图

2.3.1 施工准备

(1) 桩位放样

进行工法桩施工前,建议采用电子全站仪确定施工过程中桩地控制点,并进行标记和预埋。再通过复测验线满足要求后,使用钢尺和测线再试验区进行布设桩位,每个桩位打设一根木桩,以确保桩孔中心线的移位偏差低于 20 mm。

(2) 开挖沟槽

施工前,根据放样的桩位中心向两侧各 500 mm 左右开槽,深度 1~1.5 m,将工法设备架设在沟槽上方进行喷射作业。

(3) 施工顺序

施工前根据现场施工实际条件及工法要求提前拟好施工桩号及桩体施工顺序,宜按照“跳三打一”顺序对 N-JET 桩体进行施工,见图 3。

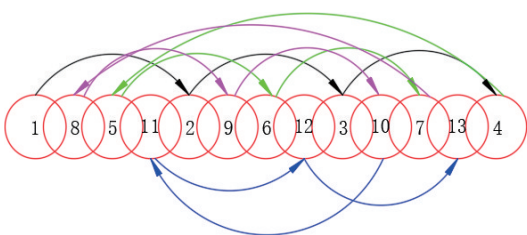


图 3 排桩跳桩施工顺序图

2.3.2 引孔

在确定钻机施工前,必须确保钻孔设备经过正

常的试运转,并开始引孔作业。在引孔过程中,需要加强泥浆的护壁效果,将适量的高质量膨润土添加到泥浆里,确保在引孔结束后钻孔内无残留物。引孔直径应选择 $\phi 220\sim 300\text{ mm}$ 的多导向钻头,引孔深度应超过桩底 1 m 以上,以确保符合N-JET工法的施工要求。钻孔泥浆性能指标见表2。

表2 钻孔泥浆性能指标

性能指标	钻孔护壁泥浆
配置比例	1 000:40(水:膨润土)
黏度/s	>28
比重/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	≥ 1.05
含砂率、%	≤ 3

2.3.3 喷浆杆下放

引孔达到设计深度后,撤除引孔钻机,准备N-JET工法桩钻机,并确保正确对准位置并调整水平度。在逐节下放钻杆至设计标高过程中,应定期检查密封件的完好性,如发现磨损应立即更换。

2.3.4 喷浆

在进行喷射注浆时,必须根据设定的施工参数进行操作。当设备达到规定的喷射压力后,应逐步提高喷浆杆的位置,以避免扭断旋喷管。此外,钻杆在分段提升时,搭接长度不应少于 50 mm 。如果喷射成桩中断超过 2 h ,重新开始施工时的搭接长度不得少于 500 mm 。喷射注浆中断时,应及时清洗管路,当中断超过 2 h 时,则应提升或拆除钻杆。

钻杆的摆动转速、提升速度应采用秒表、钢尺每班抽检1次,避免不符合设置的参数指标。

2.3.5 形成桩体

喷浆超出设计桩顶标高 100 mm 后,应立即中止喷浆操作,并要求前台操作人员迅速通知后台停止相关设备运行。在搬移设备之前,需测量事先设定的钻杆长度,以验证桩顶深度位置,以确保符合设计规范的要求。

2.3.6 钻机移位

当浆液喷嘴超出设计桩顶标高 100 mm 以上时,应终止喷涂操作,以保障桩顶的高度和稳定性。在随后的钻杆提升过程中,需依次拆除出孔口,清洗钻杆、注浆泵和输送管道,进而将钻机移至下一个钻孔位置。

3 原位试桩试验

3.1 试验布置

N-JET工法桩施工前应进行现场原位试桩试验,

验证成桩效果。试验区位于上海市机场联络线6号风井内,现场施工了1根直径 3500 mm N-JET工法桩,工法桩钻孔深度 65 m ,喷浆范围为 $60\sim 65\text{ m}$ (有效桩长 5 m),具体布桩位置及形式见图4。

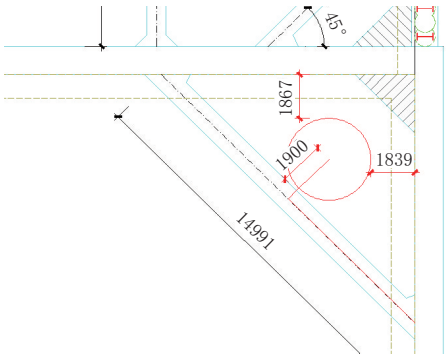


图4 试桩平面位置图(单位:mm)

试桩施工完成28 d后,对成桩进行取芯分析,取芯位置见图5。

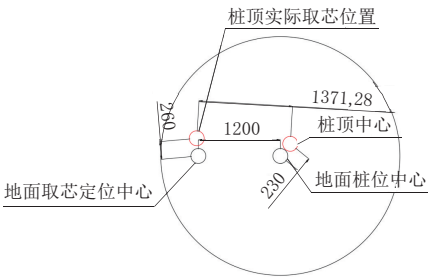


图5 取芯位置示意图(单位:mm)

根据试桩结果调整施工参数,确认合格后,对试桩的钻孔取芯处进行补喷浆液操作。

3.2 试验结果

钻孔取芯的芯样见图6,芯样主要呈灰色柱状体,个体连续完整、胶结程度好、含灰量较高、质地较为坚硬,符合N-JET成桩芯样外观要求。



图6 钻孔取芯芯样

同时,通过对钻孔取芯芯样的强度试验,得到了如表3所示的强度试验结果。由表3可知各深度抗压强度最小值分别为 2.39 MPa 、 2.44 MPa ,均大于 1.20 MPa (28 d抗压强度设计值),完全达到现场施工需求。

4 降水试验

6号风井现场设置15口降水井,坑内4口,坑外

表 3 钻芯检测强度试验结果

芯样编号	取样深度/m	破坏压力/ kN	无侧限抗压 强度/MPa	强度平均值/ MPa
1-1	-56.0~-57.0	18.21	3.49	2.90
1-2	-56.0~-57.0	14.71	2.82	
1-3	-56.0~-57.0	12.50	2.39	
2-1	-57.0~-58.0	12.87	2.44	2.89
2-2	-57.0~-58.0	14.28	2.73	
2-3	-57.0~-58.0	18.30	3.50	

11 口。在降水正式运行前,先通过降水试验验证坑内外水位是否能达到设计最大降水深度要求,以此判断封闭式止水帷幕的隔水效果。

降水试验期间,测得⑦₂层初始水位埋深为 5.22~5.45 m。第⑦₂层坑内外群井联合降水试验期间,坑内开启 3 口井,坑外开启 2 口井,运行后坑内水位埋深降至 28.10 m(降深 22.88 m),坑内满足安全水位埋深 28.07 m 的要求。稳定后坑外上部观测井水位埋深为 14.61~16.14 m,水位降深 9.01~10.43 m;稳定后坑外下部观测井水位埋深为 15.27~19.87 m,水位降深 9.53~14.47 m。此时在满足坑内设计最大安全水位埋深的情况下,同时满足下部⑦₂层安全水位埋深 10.46 m 的要求。停抽后坑内水位恢复较快;在停抽 8 min 后水位恢复 10%,停抽 50 min 后水位恢复 70.45%,停抽 230 min 后水位恢复 94.06%。

通过降水试验可知,使用 N-JET 工法对承压水进行隔断后,坑内涌水量和坑外降深均大幅度减小。

由水位恢复情况可知,承压水隔断后坑内水位恢复速率明显变慢。

5 结 语

本文依托上海轨道交通市域线机场联络线工程 6 号风井基坑工程,通过现场原位试桩试验及降水试验结果进行分析,得到以下结论。

(1)N-JET 工法成桩直径大,成桩效果良好,桩体连续且完整。

(2)N-JET 工法在各种地质都具有良好的成桩效果,能顺利达到施工及设计相关要求,普遍适用于地层跨度较大的深基坑工程。

(3)N-JET 工法在隔断风井承压水方面表现出显著效果,可有效降低基坑内涌水量、外部地面沉降及水位回升速率,从而减轻减压降水导致的地表沉降对周围建筑结构的潜在不良影响。

参考文献:

[1] 宫全美,许凯,周顺华.承压水隔层对某地铁车站基坑降水效果的影响[J].城市轨道交通研究,2006(4):22-26.
[2] 王卫东,常林越,谭轲.超深 TRD 工法控制承压水的邻近地铁深基坑工程设计与实践[J].建筑结构,2014,44(17):56-62.
[3] 张海荣.大直径超深双高压旋喷结合定喷桩在深基坑隔水帷幕中的应用[J].建筑施工,2010,32(3):205-207.
[4] 章兆熊,李星,谢兆良,等.超深三轴水泥土搅拌桩技术及在深基坑工程中的应用[J].岩土工程学报,2010(增刊2):383-386.
[5] 杜云龙,姚燕明,欧祝明,等.N-JET 超级旋喷桩在深基坑承压水控制中的应用[J].施工技术,2020,49(1):11-15.

(上接第 330 页)

Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields (BCRRA 2017). 2017.
[60] Qi-Zhang M U .Analysis of energy saving and emission reduction of central plant cold recycling in application[J].Shanxi Architecture, 2013.
[61] Jian-Ming L, Yan-Ni B, Xiao-Nan L . Study on the Reasonable Structure of the Full-Life Cycle Asphalt Pavement[J].Journal of Civil Engineering and Management, 2013.
[62] Liu L P, Sun L J .Performance-based Structural Design Method on Whole Life Asphalt Pavement[J].Journal of Tongji University, 2003.
[63] Zhao S, Huang B, Shu X , et al. Laboratory Performance Evaluation of Warm Mix Asphalt Containing High Percentages of RAP[J]. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, 2012,2294.
[64] Zheng J, Zhao S, Huang B. Rut Resistance of Foamed Warm Mix Asphalt Containing RAP[C]//International Conference on Sustainable Construction Materials: Design. 2013.
[65] Zaumanis, Martins. 100% Recycled Hot Mix Asphalt and the Use of Rejuvenators[D].Doctoral Dissertations, 2014.
[66] Malina C.The environmental impact of vehicle circulation tax reform in Germany[D].CAWM Discussion Papers, 2016.
[67] 赵嘉,韩小文.废旧沥青混合料和铁尾矿对水泥稳定碎石力学性能影响研究[J].河北建筑工程学院学报,2022,40(1):11-16
[68] 赵国民,瞿晟,盛炎民,等.掺废旧沥青混合料的水泥稳定基层力学特性研究[J].新型建筑材料,2022(2):83-85;93.
[69] 李盼,王治江.掺废旧沥青水泥稳定材料配合比优化分析[J].江西建材,2023(12):50-52.
[70] 赵东东.增塑剂对废旧塑料改性沥青及混合料性能影响研究[D].兰州:兰州交通大学,2024..
[71] 邱川,李宁,周东亮,等.大比例 RAP 掺量的乳化沥青冷再生混合料路用性能研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024(13):195-198.
[72] 张雄,熊腾飞.回收料掺量对热再生沥青混合料路用性能的影响[J].新型建筑材料,2024,51(4):15-17.
[73] 王锦辉,司马利凡.高掺量 RAP 和温拌技术对沥青混合料性能的影响[J].黑龙江交通科技,2024,47(4):57-61.
[74] 詹世佐,王毅,颜晶,等.热再生 RAP 预制构件尺寸效应分析研究[J].北方交通,2024(4):61-64;68.
[75] 王业飞,苏纪壮,刘玉梅,等.微波加热-振动搅拌再生沥青混合料性能研究[J].中国科技论文,2024,19(4):452-460.