

# 动水地区双液旋喷桩施工技术研究

程 潘 蒋经纬

中国建筑第八工程局有限公司华南分公司 广东 广州 510665

**【摘要】**：随着地下空间不断深入开发,不断新建各种地下隧道和地下建筑物,使得近距离施工的要求更高,并且在广州这样的水网密布沿海软土地区,地基土强度低、地下水位高,地下深处有较大的承压地下水的粉砂层存在,临界,并且会遇到管涌、流砂及承压水等不利情况,稍有疏忽就会产生巨大的工程事故。采用双液旋喷桩,可以有效降低基坑渗水问题、防止此类工程事故的发生。

**【关键词】**：动水；双液旋喷；施工

DOI:10.12417/2811-0528.25.21.081

## Application study of double liquid jet pile in dynamic water area

Pan Cheng, Jingwei Jiang

China State Construction Eighth Engineering Bureau Co., LTD. South China Branch, Guangdong Guangzhou 510665

**Abstract:**With the continuous in-depth development of underground space and the continuous construction of various underground tunnels and buildings, the requirements for close-range construction are higher. In coastal soft soil areas with dense water networks like Guangzhou, the foundation soil has low strength, high groundwater level, and there is a silty sand layer with large confined groundwater at deep underground. Critical situations such as piping, quicksand, and confined water may be encountered, and slight negligence can lead to huge engineering accidents. The use of double-fluid rotary jet grouting piles can effectively reduce the seepage problem of foundation pits and prevent the occurrence of such engineering accidents.

**Keywords:** moving water, double liquid rotary spray, construction

### 前言

在现代工程建设中,面临着各种复杂的地质条件,如软土地基、岩溶发育地区、富含地下水的砂砾层等。传统的地基处理方法在这些复杂地质条件下可能存在局限性,例如普通旋喷桩在地下有流动水时浆液易流失,难以成桩,且凝固时间长、水泥用量大等。同时,随着城市建设的日新月异,地下工程越建越多、越建越深,对地基加固、止水防渗、抢险堵漏等方面的要求也越来越高,需要一种更高效、可靠的地基处理技术来满足工程建设的需求。

旋喷注浆法自20世纪70年代兴起后,在静压灌浆基础上不断发展。随着对注浆材料性能、施工工艺和设备等方面研究的不断深入,双液旋喷桩技术逐渐应运而生。通过将两种不同的浆液(如水泥浆和水玻璃浆液)按一定比例混合喷射,能够克服单液旋喷桩的一些缺点,如缩短浆液凝固时间、提高桩体强度和抗渗性等,从而在建设工程中得到了越来越广泛的应用和研究。

### 1 双液旋喷桩技术原理与特点

双液旋喷桩是高压旋喷注浆法的一种改进技术,通过将两

种不同性质的浆液(通常为水泥浆和水玻璃浆液,或其他速凝型浆液)分别通过高压注浆泵输送至特制的双重注浆管,在桩体施工部位按设定压力和比例混合喷射,形成具有一定强度和抗渗性的桩体。

双液旋喷桩通过速凝浆液(常用水玻璃溶液)与水泥浆液在桩端混合,将水泥浆液固化时间由数小时至数十小时缩短至数秒至几分钟,能有效降低高压旋喷桩的水泥浆液在动态水流中流失,适用于动水环境下的快速止水、基坑抢先堵漏以及地基处理加固等场景。

### 2 动水地区地质条件分析

动水地区通常指存在水流(如河流、湖泊、沿海区域、地下水径流活跃区等)影响的地质环境,其地质类型复杂且受水动力作用显著。对于珠三角区域,受动水影响最为严重的地质类型为粉细砂地质及淤泥或淤泥土地质。

粉细砂颗粒粒径小(0.075~0.25mm),孔隙率高,透水性强,在动水作用下易发生流砂、管涌等现象,地基承载力较低且稳定性差。在动水影响下,水流冲刷易导致地层结构松散,施工时易出现孔壁坍塌,对桩基施工(如高压旋喷桩)的成桩

质量影响显著。淤泥或淤泥土富含有机质，孔隙比大，含水率高（常超过液限），压缩性高，强度极低，呈流塑或软塑状态。在动水影响下，动水可能加剧土体的流变特性，导致地基沉降变形显著，旋喷桩施工时浆液易被稀释，影响固结体强度，需通过调整浆液配比（如增加水泥用量、添加早强剂）提升加固效果。

### 3 双液旋喷桩施工工艺与参数优化

#### 3.1 施工设备及注浆管结构

双液旋喷桩施工设备主要包括用于成孔的钻机、直径70~127mm 双重注浆管（内管输水泥浆，外管与内管环形间隙输水玻璃，喷头设混合室）、两台高压注浆泵（压力20~40MPa）分别输送水泥浆及水玻璃、以及制备水泥浆的搅拌机。对于实施条件有限的建设工程，可以利用三管旋喷桩机进行改造，将注水调整为适当浓度的水玻璃溶液并匹配相当的注浆压力同样可达到相同的效果。

#### 3.2 材料要求

- (1) 水泥采用 P.O 42.5 级及以上，无结块；
- (2) 水玻璃溶液模数 2.4~3.4，浓度根据试桩参数选取；
- (3) 水质要求达到混凝土拌合用水标准，无杂质避免堵塞注浆管。

#### 3.3 施工工艺及技术参数

(1) 施工现场准备：现场完成三通一平、施工作业面准备（地下障碍物清理及软弱地基压实处理）、泥浆池及废浆排污系统准备，确保现场具备施工基础条件同时废水处理满足环保要求。

(2) 测量放线：根据设计桩位图定位，控制误差在 50mm 以内，设置控制桩并妥善保护。

(3) 钻机就位与钻孔：通过全站仪调整钻机位置，同时确保钻杆垂直度偏差 $\leq 1\%$ ，钻头对准桩位中心（误差 $\leq 20\text{mm}$ ）。

(4) 钻孔成孔：采用旋转钻进或跟管钻进，根据地层选择钻头（如土层用合金钻头，岩层用金刚石钻头）。钻孔深度超过设计桩长 0.5m，防止底部沉渣影响桩体质量。记录钻孔过程中的地层变化、返浆情况，若遇塌孔可注入膨润土泥浆护壁。

(5) 下注浆管与试喷：将双重注浆管插入钻孔，底部到达设计标高（误差 $\leq 100\text{mm}$ ）以下约 0.5 米，管身连接牢固，防止漏浆。

(6) 试喷调试：启动高压泵，注入清水试喷，压力

20~25MPa，检查喷头喷射均匀性、管路密封性，调整泵压至设计值。

#### (7) 双液喷射注浆与提升

(1) 浆液制备：水泥浆：按水灰比搅拌，过筛（筛孔 $\leq 2\text{mm}$ ）存入储浆桶，持续搅拌防止沉淀；水玻璃溶液：按浓度稀释，与水泥浆分别存放，避免提前混合。

(2) 喷射注浆：先送水玻璃，再送水泥浆，待两种浆液在孔底混合后（约 30s），开始旋转喷射（转速 10~20r/min）。保持注浆压力 20~40MPa（根据地层调整，砂土取高值，软土取低值），水泥浆流量 80~120L/min，水玻璃流量 20~40L/min。

(8) 提升作业：按设计速度（一般为 10~25cm/min）匀速提升注浆管，严禁中断。桩顶设计标高以上超喷 0.5~1.0m，确保桩头强度。

(9) 特殊地层处理：在富水层或砂砾层，可降低提升速度、提高注浆压力，或采用复喷工艺（重复喷射一次）。对于动水压力较大的砂层区域，可在注双液浆前预先注粘土粉浆液，既可起到泥浆护壁防止塌孔的作用，也可通过粘土粉填充砂层间隙降低砂土渗透系数降低因动水影响导致的浆液流失。

(10) 孔口回灌：注浆结束后，孔口浆液因凝固收缩可能下沉，需及时补灌水泥浆（或双液浆）至孔口，确保桩体饱满。

(11) 设备清洗：用清水冲洗注浆管、泵体和管路，防止浆液凝固堵塞，水玻璃泵送管需单独用清水冲洗 10~15min。

### 4 质量控制要点及检测方法

(1) 垂直度控制：钻孔前通过全站仪校核桩机垂直度，钻孔及提升过程中每间隔 3 米测量一次钻杆垂直度，超过 1% 即需要及时进行调整。

(2) 注浆控制：注浆后台需由专人时刻关注注浆压力和注浆流量，若压力骤降超过 10%、注浆流量突增或反浆量骤减，可能是土层存在土洞或断裂层导致的漏浆，需停止提升原地旋喷双液浆至注浆参数回复方可恢复提升。同时，可根据反浆情况判断提升速度是否正常，反浆量骤减则提升过快或浆液流失严重需降低甚至暂停提升，反浆量骤增则说明双液浆无法与土体有效拌合需适当增大切割压力或采取其他措施。

(3) 中断处理：如提升过程出现中断，排查故障、恢复注浆后将钻头（注浆管）深入断面以下 0.5~1 米，重新喷浆 10~15S 后匀速提升。如中断时间较长，需及时清洗注浆管防止堵管。

(4) 检测：根据双叶旋喷桩的功能选择不同的检测方式，一般 7~10 天即可通过钻芯法检测桩身完整性。如需检测抗压

强度,建议龄期不少于14天,满足28天龄期最佳。止水性能可通过抽水试验进行验证,地基加固处理则可通过压板试验等方式检测地基承载力。

## 5 双液旋喷桩在动水地区应用案例分析

广州荔湾某项目距离珠江仅70米,近江侧表层2~4米杂填土,杂填土下为粉细砂及中粗砂层,砂层平均厚度12~16米,地下稳定水位2.2~3.2米、并与珠江形成稳定补充,是典型的动水砂层地质。该项目基坑开挖深度14.5米,选用单排泥浆护壁灌注桩+三轴搅拌桩支护止水体系。考虑到近江侧砂层深厚且砂层与风化岩层之间无粘土层,止水桩难以穿透砂层,为保证止水效果,在支护桩间增加2根双冠高压旋喷桩,桩长9米(桩顶基坑底以上约6米)。

试桩阶段,项目选取近江侧最不利位置作为试桩点。经14天龄期后钻心检测发现,三轴搅拌桩及高压旋喷桩均出现部分桩身离散不成形的情况,且出现桩身离散高度一致。经分析与论证,最终确定止水帷幕不成桩原因为复杂地质以及动水影响导致水泥浆液流失,将高压旋喷桩调整双液旋喷桩。

第一次双液旋喷桩试桩将水泥用量调整为原设计1.5倍,水玻璃用量按5%进行试配,抽芯结果显示双液旋喷桩成桩效果有明显改进,但仍未达到设计要求。第二次试桩将水泥用量

调整为原设计2倍,水玻璃用量按30%配比,抽芯检测显示双液旋喷桩成桩质量良好。该项目按第二次试桩结果调整旋喷桩设计参数(双液浆配比)以及旋喷桩将桩长提升至冠梁底部,最终实现基坑顺利开挖且过程无较大渗漏发生。

## 6 应用效果评估

广州荔湾某项目成功应用双液旋喷桩改进止水帷幕设计,是地区内一次大胆的尝试应用。该设计方案相较于咬合桩、地连墙等型式的纯混凝土支护结构,双液旋喷桩不仅造价更为低廉、施工工艺也简便。另一方面,该项目因工期原因试桩配比组数较少,且两组参数之间未设置足够的变量,虽然最终成功解决动水作用下的旋喷桩成桩质量问题,但在经济性方面仍有一定的提升空间。

## 7 结论

动水地区地质类型的复杂性与水动力作用相互叠加,导致桩基施工难度显著增加。双液旋喷桩在应用时需根据具体地质类型(如砂土的透水性、黏土的流变性、卵石层的颗粒级配等)调整施工工艺和参数,以确保桩体的成桩效果和止水性能。同时,施工前需通过地质勘察明确地层分布,结合动水特性(流速、水压、水质等)制定针对性试桩并最终出具设计方案,才能有效应对动水地区的工程挑战。

## 参考文献:

- [1] 马正春,董瑛.双液高压化学注浆技术在流砂层动水中的应用.建筑知识,1997年.02期.
- [2] 彭少杰,杨继范.超高压双液水平旋喷施工技术.上海建设科技,2008(06).
- [3] 李敏健,邵泉,胡志桥,尹穗,陈刚.广州新电视塔袖阀管双液注浆砂层地基加固技术.施工技术,2009,38(05).