

基坑工程中长螺旋咬合桩复合支护技术在复杂地质条件下的应用研究

白梓瀛 李鼎

云南宏旺地矿岩土工程勘察设计有限公司 云南 保山 678000

【摘要】：城市基坑支护面临日益复杂的地质环境挑战，特别是在地下水丰富的泥炭质土、有机质土、淤泥、淤泥质土等不良地质条件下，传统的支护结构如防渗帷幕+桩锚或连续墙存在工期长、造价高等问题。本文针对该问题，提出一种基于长螺旋咬合桩的复合支护技术，即先施工长螺旋水泥土桩，再施工长螺旋钢筋混凝土桩，通过咬合形成类似连续墙的结构，兼具支护和止水功能。本文详细阐述了该技术的特点、原理、适用范围、工艺流程和操作要点，并通过理论分析和工程实践，验证了该技术在复杂地质条件下的有效性和优越性。

【关键词】：长螺旋咬合桩；复合支护；止水帷幕；基坑支护；复杂地质

DOI:10.12417/2705-0998.26.04.084

1 引言

随着城市建设的快速发展，深基坑工程日益增多。然而，城市地质条件复杂，特别是地下水丰富的泥炭质土、有机质土、尾矿砂、尾矿泥等不良地质环境中，基坑支护面临严峻挑战^[1,2]。传统的支护方式，如防渗帷幕+桩锚支护结构或连续墙支护结构，往往存在施工工期长、造价高等问题^[3,4]。因此，研发一种兼具支护和止水功能、施工便捷、经济高效的支护结构，成为工程界的迫切需求。

长螺旋钻孔技术具有成孔不用泥浆或套管护壁、施工噪声小、无振动、对环境无泥浆污染、机具设备简单、装卸移动快速等优点^[5,6]。基于此，本文提出一种“长螺旋钢筋混凝土桩咬合长螺旋水泥土桩复合支护技术”，旨在为复杂地质条件下的深基坑支护提供一种新的解决方案。

2 关键技术

2.1 技术特点

(1) 支护止水一体化：该技术形成的复合支护结构同时具备支护挡土和止水防渗功能，能够承受土层侧向压力和地下水水头压力，有效保护基坑安全。

(2) 施工便捷快速：采用长螺旋钻机进行钻孔和灌注，设备简单灵活，成孔速度快，无需泥浆循环，施工效率高。

(3) 经济节约：相较于地下连续墙、高压旋喷桩等支护结构，该技术造价更低，且可根据土层条件采用“一荤一素”或“一荤多素”的组合形式，进一步降低成本。

(4) 环境影响小：长螺旋钻进成孔过程为干式成孔，无需泥浆循环，施工噪声和振动小，对环境影响较小。

(5) 施工质量好：干孔作业提高了桩与土体间的摩阻力，超流态混凝土压灌成桩工艺提高了成桩质量，有效克服了断桩、缩径等质量通病。水泥土置换止水桩解决了有机质土层与

水泥反应成桩质量差的问题。

(6) 有效控制地下水：复合支护结构隔断基坑外地下水，与坑内降水系统形成“两水并施”，保障基坑内正常水位，控制坑外设计水位，确保周边环境安全。

2.2 技术原理

(1) 钻进成孔原理：长螺旋钻孔是一种大扭矩动力头带动的长螺旋中空钻杆快速干钻法。钻头切削下来的土通过螺旋钻杆不断输送至地表，不使用循环介质，具有环保、成孔质量好、施工速度快、造价低等优势

(2) 支护原理：长螺旋钢筋混凝土桩与长螺旋水泥土桩紧密咬合嵌锁后形成的类似地下连续墙结构，具有一定的刚度和协调变形能力。钢筋混凝土桩承受主要侧向压力，水泥土桩协调传递剪力并承担部分剪力，两者协同作用实现土层支护。此外，结构与周边土层间的摩擦作用，在一定程度上可折减钢筋混凝土桩和水泥土桩所承受的剪力，提高支护效果，支护结构原理如图1：

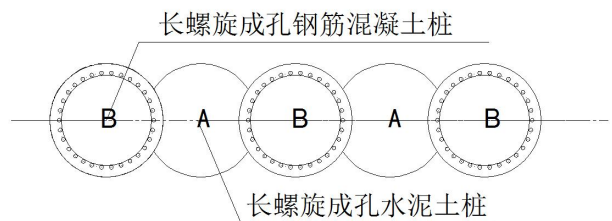


图1 双桩咬合平面布置图

(3) 止水原理：水泥土桩和钢筋混凝土桩咬合形成基坑周围连续的止水帷幕，达到止水作用。钢筋混凝土桩对先期施工的长螺旋水泥土桩的切削和咬合作用，使两者紧密咬合成墙，形成具有一定厚度的类似地下连续墙的结构，从而实现止水防渗要求。该厚度结构可承受地下水水头压力，实现止水帷

幕功能。

(4) 水泥土固化原理：水泥水化生成的胶凝粒子比表面积增大，形成很大的表面能和强烈的吸附性，使土体团粒进一步结合起来，形成水泥土的团粒结构。随着水泥水化反应的深入，析出大量钙离子，与粘土矿物的 SiO₂ 及 Al₂O₃ 反应，生成不溶解于水的稳定结晶化合物，增大水泥土强度和水稳性。

2.3 适用范围

该技术适用于地下水丰富的泥炭质土、有机质土、淤泥、淤泥质土等不良湖相沉积土层中深基坑支护工程，或者是基坑周边环境复杂、场地狭窄地段需采用长螺旋钢筋混凝土桩咬合长螺旋水泥土桩进行支护和止水的深基坑支护工程。常用桩径 600mm、800 mm 和 1000mm 三种，桩长最大可达 35 米。

3 技术工艺流程

3.1 工艺流程

首先施工水泥土桩，在水泥土桩养护 4 天后，采用长螺旋钻机钻进施工钢筋混凝土桩，通常分两序施工混凝土桩，在遇有可能串孔的土层时，可分四序施工混凝土桩，施工工艺流程如图 2，平面施工顺序如图 3：

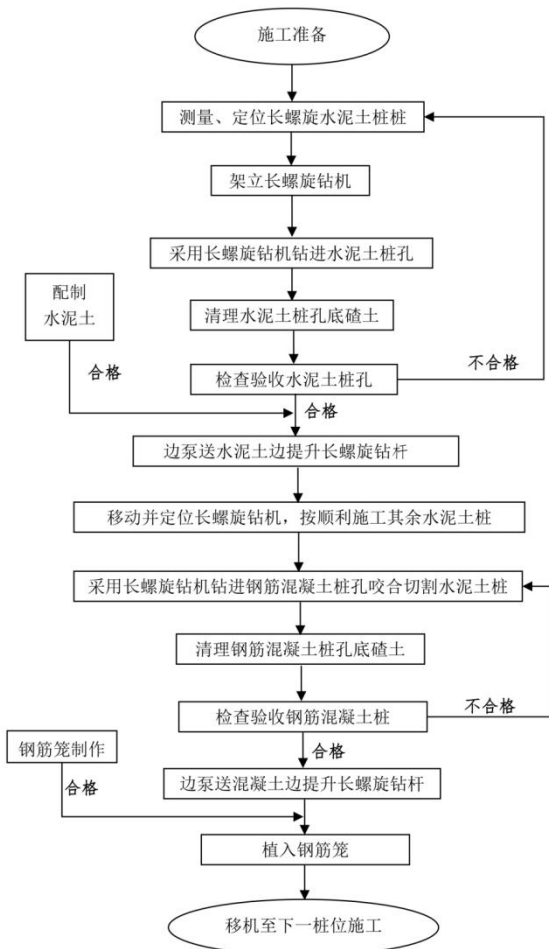


图 2 施工工艺流程图

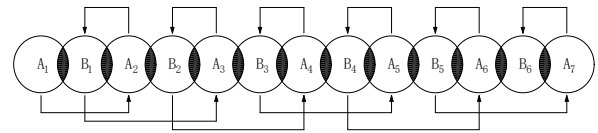


图 3 平面施工顺序图

3.2 注意事项

- (1) 钻机就位时校正并保持平整稳固，设置控制深度标尺。
- (2) 钻进过程中随时清除、运走渣土，钻到预定深度后空转清土，控制孔底虚土厚度。
- (3) 注意土层地质变化情况，遇坚硬地层调减钻进速度，遇较大障碍物停机清理。
- (4) 严重坍孔时，回填砂或粘土重新钻孔或往孔内倒少量土粉或石灰粉。
- (5) 控制深度和偏斜度，不符合要求需重新成孔并回填不合格桩孔。
- (6) 钢筋笼一次制作完成并绑好保护层砂浆块，对准孔位吊直扶稳或用导向钢筋缓慢送入孔内。
- (7) 安装定位钢筋笼后立即浇灌超流态混凝土，坍落度一般为 18~22cm。
- (8) 地下水位较高地段，钻进到设计深度后，立即提钻杆开始灌注混凝土或水泥土，保证钻杆埋在混凝土或水泥土中一定深度。
- (9) 钢筋笼较长时应采用 2 台汽车吊配合起吊钢筋笼，避免钢筋笼起吊过程变形，同时在钢筋笼中间穿入空心管式振动器，钢筋笼垂直对准桩中心开始振动插入。

4 技术操作要点

4.1 操作准备

建立质量、安全、进度、文明施工保证体系，编制施工细则，并报监理单位审批。做好场地以及人员、设备、材料进场准备，排除或处理施工场地范围内的地面、地下障碍物。平整场地，完善场地内抽排水系统，确保施工排水顺畅。检查复核现场周边的测量基准线、水准基点；检查并清理施工场地内的架空电线。在复杂土层中施工时，事先进行必要的长螺旋成孔试验。

4.2 测量、定位

采用全站仪或水准仪和经纬仪，从基准点引导线至施工现场，设置测量基准线、水准基点，妥加保护。根据设计图纸，采用全站仪或水准仪和经纬仪测放水泥土桩桩位，并用短钢筋标注桩位中心、用石灰标注桩位。

4.3 架立钻机

钻机就位前对桩位进行复测,清理桩位周围的障碍物。若场地较松软或饱水时,可在场地钻机位置范围内垫石块或砖渣。详细检查各部件,确保钻机放置平稳、坚实,并保持垂直。控制钻杆的中心线偏斜量在小于钻杆全长1%的范围内。在钻杆中部安装扶正器,用钢丝绳挂在动力头上,并在钻头上部设置导正环,保证钻杆的稳定性和桩孔的垂直度。

4.4 钻进水泥土桩孔

根据土层情况选择钻头形状、规格和角度。施工时钻头对准桩位点,稳固钻机,通过水平尺及垂球双向控制螺旋钻头中心与钻杆垂直度。根据地质情况控制长螺旋钻孔进尺速度。钻进施工过程中要边旋转钻杆边清除孔边渣土。钻机钻进过程中,一般不得反转或提升钻杆。在钻进过程中,如遇到卡钻、钻机摇晃、偏斜或发现有节奏的声响时,应立即停钻,查明原因,采取相应措施后,方可继续作业。设专职记录员记录成孔过程的各种参数。

4.5 水泥土桩孔底渣土清理

当长螺旋钻机钻孔至设定深度后,空转钻杆1分钟,将钻孔底部渣土通过螺旋钻杆叶片输送到孔口,从而清理水泥土桩底部渣土。经孔底渣土清理,水泥土桩孔底的虚土厚度应控制在不大于100mm。

4.6 泵送水泥土

水泥土桩孔完成后,应尽快灌注水泥土。水泥土的配比根据实际情况调整,一般为水泥:瓜子石:粘土=2:2:3,水泥土采用强制式搅拌机现场拌制。边泵送水泥土边提升长螺旋钻机钻杆时,应控制钻杆提升速度,以确保钻杆提升高度小于水泥土桩灌注成桩长度。

4.7 钢筋混凝土桩咬合切割水泥土桩

在水泥土桩养护4天后,采用长螺旋钻机钻进施工钢筋混凝土桩,通常分两序施工混凝土桩,在遇有可能串孔的土层时,可分四序施工混凝土桩。在咬合切割水泥土桩时,必须定位准确,要严格控制咬合量和桩身垂直度,确保钢筋混凝土桩与水泥土桩紧密咬合。

参考文献:

- [1] 孙家琦,李晓峰.复杂地质条件下深基坑支护技术研究进展[J].岩土力学,2010,31(增2):373-378.
- [2] 王卫东,张建海,李术才.软土地区深基坑支护技术研究[J].公路交通科技,2007,24(4):126-129.
- [3] 赵锡宏,袁聚云.深基坑支护结构与施工[M].北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [4] 刘建航,李宏伟.深基坑工程支护技术[M].北京:科学出版社,2012.
- [5] 李广信.土力学[M].北京:清华大学出版社,2009.
- [6] 龚晓南.土工原理与计算[M].杭州:浙江大学出版社,2000.

4.8 泵送混凝土

超流态商品混凝土的坍落度控制在18cm~22cm,混凝土中粗骨料最大粒径不得大于25mm,扩散度为34cm~45cm,并应严格保证商品混凝土的强度等级。泵送混凝土前,要认真复核混凝土桩的浇筑量以及每盘泵入混凝土量。钻杆提升过程要避免反插。混凝土输送泵泵送混凝土应该连续进行,当钻机移位时,料斗内的混凝土应连续搅拌,泵送混凝土时,应保持料斗内混凝土的高度不低于40cm,以防吸进空气造成堵管。成桩施工各工序应连续进行。成桩完成后,应及时清除钻杆及软管内残留混凝土。

4.9 植入钢筋笼

钢筋笼制安完成后,经验收合格后方可进行吊装。成桩后的混凝土桩应立即吊放钢筋笼,在钢筋笼内套上振动棒以便将钢筋笼深度范围内的混凝土振捣密实。钢筋笼吊离地面后,利用重心偏移原理,通过起吊钢丝绳在吊车钩上的滑移并稍加人力控制,实现扶直,起吊转化为垂直起吊,将起吊后的钢筋笼缓缓移至孔口,钢筋笼的中心轴线与孔口中心对正,吊车下放吊绳,钢筋笼在自重作用下植入孔内,入孔时应轻放慢放,入孔不得强行左右旋转,严禁高起猛落、碰撞和强压下放。

5 结论

本文提出的长螺旋钢筋混凝土桩咬合长螺旋水泥土桩复合支护技术,在地下水丰富的泥炭质土、有机质土、淤泥、淤泥质土等不良地质条件下具有显著优势,可以有效解决传统支护结构存在的工期长、造价高等问题。该技术兼具支护止水功能,施工便捷快速,经济节约,环境影响小,施工质量好,能够有效控制地下水,是一种具有推广应用价值的深基坑支护技术,为进一步提升该工艺优势,未来可开展以下几个方面的研究:

- (1) 进一步优化水泥土配比,提高水泥土桩的强度和耐久性。
- (2) 研究长螺旋咬合桩复合支护结构在不同地质条件下的适用性和设计参数。
- (3) 开发智能化施工监测系统,实时监控施工过程,确保施工质量和安全。