预应力管桩长螺旋引孔注浆与自重式植桩施工技术

高险峰[1]，李欣霖[1]，雷　斌[2]

（1. 深圳市工勘建设集团有限公司，广东 深圳 518063；2. 深圳市工勘岩土集团有限公司，广东 深圳 518063）

摘要：针对常规预应力管桩施工方法在基坑底部施工受限的问题，提出在桩位预引孔注浆及植桩的方法。通过将注浆系统与长螺旋钻机集成一体，实现长螺旋喷气钻进引孔、提升钻杆同步注浆一体施工，待形成水泥浆孔后，将预应力管桩以自重式植入浆孔内，最后通过振动锤和送桩器送至桩端持力层。管桩和水泥浆有机结合，形成强度较高的水泥土复合管桩，显著提高桩身承载力，满足施工正常开展，同时确保管桩植桩质量。

关键词：预应力管桩；长螺旋引孔注浆；自重式植桩；施工技术

中图分类号：TU473.1　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1671－1807(2024)19－0159－07

预应力管桩具有施工便利、成桩高效、现场管理便捷等优点，在基础工程中得到广泛应用[1-2]。常用的施工工艺包括静压法和锤击法[3-4]。在实际施工过程中，为减少管桩送桩量，通常选择在基坑内进行施工[5]。当项目位于建筑物密集区时，由于锤击管桩噪声大，优先采用静压法[6]。然而，在基坑底部作业时，因受静压管桩机尺寸的限制，距离基坑边缘约 4 m 范围内的管桩无法正常施工。此时，只能采用边桩器压入，但边桩器压力值偏低，难以满足设计要求[7]。为解决上述管桩施工受限、质量难保证的问题，本文开展预应力管桩长螺旋引孔注浆与自重式植桩施工技术研究。

1　工程概况

1.1　工程位置与规模

深圳市玉塘文体中心新建工程东侧为 6 层民宅，距离基坑边最近处 3 m；南侧为两栋工业厂房，距基坑边仅 0.5 m。本项目基础工程桩设计采用静压预应力管桩，设计桩径 500 mm，总数 1 679 根，距离支护桩内边线 4 m 范围线内的边桩共计 210 根，其中，地下室外墙抗压桩长 15 m，承台抗压桩和抗拔桩长 24 m。项目场地内地层自上而下依次为杂填土、淤泥质黏土、粉质黏土、含黏性土中砂、粗砂、砂质黏性土、全风化花岗岩、土状强风化花岗岩、块状强风化花岗岩，桩端持力层为土状强风化花岗岩。

1.2　现场施工情况

考虑到项目场地周边环境条件，现场采用2 台静压管桩机施工，在基坑开挖 8.5 m 后的工作面进行施工，由于边桩距离支护桩过近，静压管桩机难以正常开展工作；采用边桩器施工，又无法达到设计承载力要求。设计拟将边桩改为直径 800 mm 的旋挖灌注桩，但考虑至同一承台或基础设计两种桩型不利于基础受力，此外，旋挖灌注桩需至少将桩端入中风化或微风化岩中，这将大大增加成孔费用。

后续采用水泥土复合管桩[8]，其设计桩径为 800 mm，其中水泥土桩直径 800 mm，管桩直径 500 mm，并制订了采用长螺旋引孔后提升钻杆同步注浆，再利用静压管桩机于浆孔内压入管桩的施工方案[9-10]。

经试桩发现，长螺旋引孔及注浆效果良好，管桩在吊入孔位后以自重下落至水泥浆孔底。为此，后继进一步优化施工工序，改为成孔后使用吊车吊放管桩至浆孔内，再借助挖掘机和吊装带通过管桩脱钩牵引植入技术，使管桩以自重式快速植入，最后通过振动锤配合送桩器送桩至设计标高。施工过程连续紧凑，植桩效率高，有效节约施工工期；同时，高压注浆使水泥浆充分渗入孔壁、孔底，水泥土桩与管桩有机结合，形成具有较高承载力的水泥土复合管桩[11]，整体施工达到了便捷高效、质量可靠、缩短工期、节省成本的效果。

收稿日期：2024-05-24

作者简介：高险峰（1968—），男，黑龙江五常人，高级工程师，研究方向为施工技术创新；李欣霖（1996—），男，广东肇庆人，硕士，助理工程师，研究方向为施工技术创新；雷斌（1963—），男，江西吉安人，教授级高级工程师，研究方向为施工技术创新。

2　技术工艺

2.1　适用范围

(1)适用于基坑底距坑边不小于 1 m 的管桩施工。

(2)适用于施工场地周边建筑密集区替代预应力管桩施工。

(3)适用于黏土、粉土、填土、砂土、风化岩层的长螺旋钻进引孔施工。

2.2　工艺原理

该技术通过长螺旋桩机钻进引孔及提升钻杆注浆,在孔口采用吊放牵引将管桩以自重式植入浆孔,通过振动锤和送桩器将管桩贯入至桩端持力层,实现了基坑边预应力管桩施工。以深圳市玉塘文体中心新建工程为例进一步解释。长螺旋引孔孔径为 800 mm,管桩桩径 500 mm,管桩受水泥浆握裹,二者有机结合形成水泥土复合管桩,从而扩大整个桩体的摩擦面,提高桩体承载力[12]。

2.2.1　长螺旋钻进引孔注浆一体施工

长螺旋钻进引孔时,采用空气压缩机将高压气体经高压气管持续输送至钻杆内腔,并由钻头喷嘴喷出,防止钻头喷嘴在钻进时被泥土堵塞,影响后续长螺旋钻杆注浆;在提升长螺旋钻杆时,钻杆反向旋转及提升,后台同步进行高压注浆,高压注浆泵将储浆桶中的水泥浆经高压浆管输送至长螺旋钻杆内腔,并经钻头喷嘴喷出,长螺旋钻杆边旋转提升边喷浆,直至桩顶标高位置。长螺旋钻杆提升注浆管路具体布置如图 1 所示。

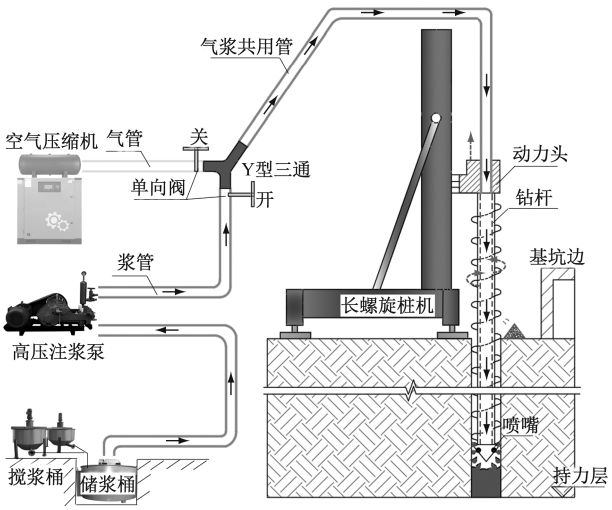

图 1　长螺旋钻杆提升注浆示意图

2.2.2　预应力管桩自重式植桩原理

长螺旋引孔及注浆后,将管桩经吊车吊放至孔口,随后与吊装带、钢丝绳、挖掘机铲斗配合将管桩自重式植入至水泥浆孔,并通过振动锤和送桩器将浆孔内管桩送桩至设计标高。管桩植入过程如图 2 所示,振动辅助送桩示意如图 3 所示。

2.3　施工工艺流程

预应力管桩长螺旋引孔注浆与自重式植桩施工工艺流程如图 4 所示。

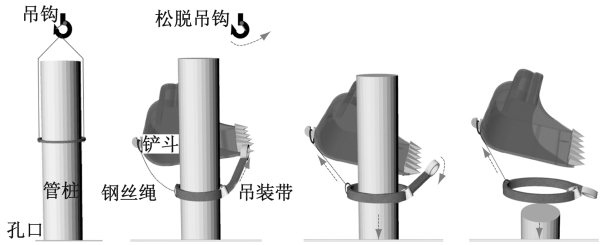

图 2　管桩脱钩牵引植入过程

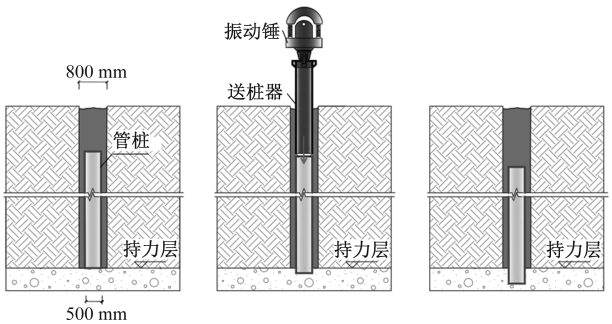

图 3　管桩脱钩牵引植入过程

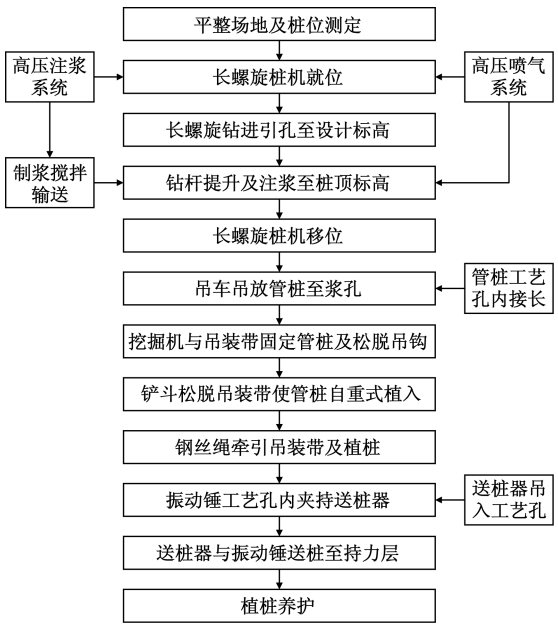

图 4　施工工艺流程

2.4 施工操作要点

以深圳市玉塘文体中心新建工程桩基础工程为例进一步阐述,项目基坑坑顶绝对标高为21.30～24.10 m,±0.00相当于绝对标高24.80 m。基坑开挖深度为8.5～12.6 m,边桩采用水泥土复合管桩,设计水泥土桩直径800 mm,管桩直径500 mm。预应力管桩采用PHC500壁厚125 mm的AB型管桩,长度有15 m和24 m两种,送桩长度最大为8.5 m。

2.4.1 平整场地及桩位测定

(1)使用挖掘机对场地进行平整,清除地上、地下障碍物。

(2)根据总图坐标对桩位进行测量放线,并对桩位进行定位,用细钢棒和红色塑料袋对桩位进行标记。

2.4.2 长螺旋桩机就位

(1)长螺旋桩机选用JZU120履带式桩机,整机外形尺寸长12 m,宽6.2 m,高38 m,钻孔直径≤1 000 mm,可钻孔深32 m,动力头功率为180 kW,整机质量为90 000 kg。

(2)为避免场地下沉影响桩机施工质量,在桩机就位前事先在前端受力处及桩机履带下方铺垫钢板,为长螺旋桩机钻进提供良好作业环境。

(3)移动长螺旋桩机到达作业位置,调整桩架垂直度在1%以内,桩机基坑边就位,如图5所示。

(4)控制长螺旋桩机液压操作系统,调整桩机4个液压支撑下压,加固长螺旋桩机机身,保持平稳。

2.4.3 高压注浆系统、高压喷气系统连接

(1)将高压气管连接空气压缩机,确保长螺旋钻进过程中具有足够气压保持喷嘴通畅,高压气管与空气压缩机如图6所示。

(2)高压浆管连接高压注浆泵,注浆泵连接储浆桶,水泥浆搅拌站距离桩位超过30 m,充足压力可确保水泥浆体正常泵送到位。高压浆管与高压注浆泵如图7所示。

(3)气管、浆管的另一端均通过单向阀与Y型三通连接,三通直段连接气浆共用管,调节浆管单向阀、气管单向阀开关可实现泵浆或送气的切换。管道连接如图8所示。

(4)气管、浆管、气浆共用管均为同类管,均选用高压胶管,工作压力最大17 MPa,可耐受空气压缩机及高压注浆泵最大输送压力。气浆共用管延伸至长螺旋钻杆动力头,通过动力头连通至钻杆内腔,输送气体或浆体;钻头设有喷嘴,气体、浆体可通过喷嘴喷射。气浆共用管与动力头如图9所示。

图5 桩机基坑边就位

图6 气管连接空气压缩机

图7 浆管连接高压注浆泵

2.4.4 长螺旋钻进引孔至设计标高

(1)将桩机钻头对准桩位中心,确认平面位置,使用2台经纬仪互成90°进行钻杆垂直度监测并校正。

(2)长螺旋钻进前,注浆泵连接清水池,关闭气管单向阀开关,开启浆管单向阀开关,泵送清水对钻杆内部管道及钻头喷嘴进行清洗及疏通,确保钻进时高压气体输送通畅。清水喷洗后,关闭

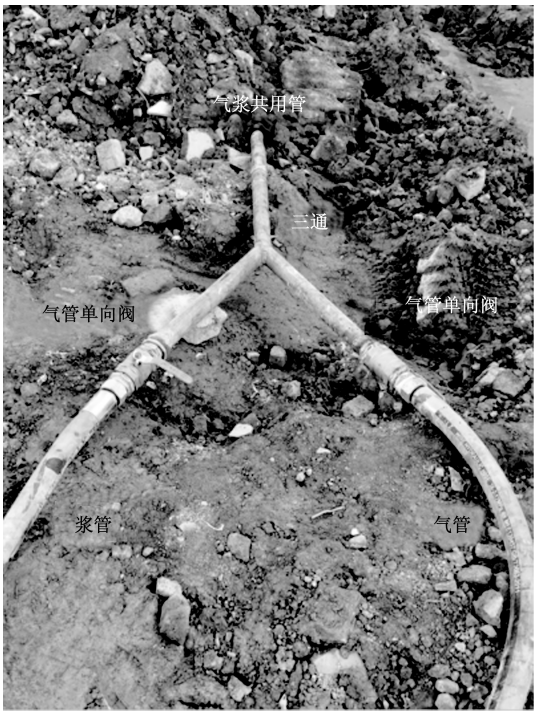

图 8　气管和浆管与 Y 型三通连接

图 9　气浆共用管与动力头

浆管单向阀开关，开启气管单向阀开关，启动空气压缩机，设置气压为 0.7 MPa，保持长螺旋钻头喷嘴喷气，防止钻头在钻进过程中泥土进入喷嘴造成堵塞。

2.4.5　制浆搅拌输送

(1)采用 P.O 42.5 的水泥制浆，为保证供浆及时，设置两个搅浆桶，在搅浆桶内搅拌均匀后，经筛过滤，放入储浆桶中。水泥浆搅拌如图 10 所示。

(2)储浆桶对水泥浆进行不间断搅拌，防止水泥浆沉淀；桶口铺设网状钢筋，防止操作人员掉落。储浆桶如图 11 所示。

2.4.6　钻杆提升及注浆至桩顶标高

(1)长螺旋钻孔至设计标高后，关闭气管单向

图 10　水泥浆搅拌

图 11　储浆桶

阀停止送气，开启浆管单向阀开关，启动高压注浆泵并设置注浆压力为 0.5 MPa 开始注浆，在成孔底部定喷 2 min，使孔底注浆充分，防止桩底发生颈缩。

(2)长螺旋桩机控制卷扬机和动力头提升长螺旋钻杆，边提升钻杆边喷射注浆，提钻速度控制在 0.5 m/min 以内，同时控制注浆泵流量，保证浆液流量与提速相匹配。长螺旋钻杆钻头提升至桩顶标高，关闭浆管单向阀和高压注浆泵停止注浆，并及时泵送清水清洗浆管和喷嘴，将管道内残留的水泥浆清理干净，防止水泥浆固化堵塞管道。

2.4.7　长螺旋桩机移位

(1)将长螺旋桩机 4 个支撑上提，控制长螺旋桩机履带行走后退，为后续植桩施工让出工作面。

(2)及时泵送清水清洗浆管和喷嘴，将管道内残留的水泥浆清理干净，防止水泥浆固化堵塞管道。

2.4.8　管桩工艺孔内接长

(1)本实例管桩设计长度分别为 15、24、24 m 长度管桩需进行焊接接长。

(2)由于管桩长度较长，平地焊接接长后，起吊管桩有一定难度，为便于对管桩进行接长处理，在地面上施工工艺孔，并采用钢护筒进行护壁，其孔

径 600 mm,孔深 15 m。管桩接长时,采用吊车将第一节管桩吊入工艺孔,并采用措施在孔口固定,直接在工艺孔内进行接长。管桩孔口固定如图 12 所示。

(2)管桩首尾端部自带端板,端板设有焊接坡口。起吊第 2 节管桩至第 1 节管桩上部,使其与第 1 节管桩对齐后进行焊接作业。管桩焊接采用二氧化碳气体保护电弧焊,焊接后使用沥青涂抹焊缝处以防止腐蚀。焊接效果如图 13 所示。

2.4.9 吊车吊放管桩至浆孔

(1)管桩起吊前,使用钢丝沿管桩环形绑扎并对称布置 4 个方形保护块作为管桩保护定位装置,使管桩植入浆孔时垂直居中,与水泥土桩中心重合,并保证管桩保护层厚度不小于 120 mm。每根管桩至少设置 2 个定位装置。定位装置如图 14 所示。

(2)将管桩起吊至浆孔内,人工配合将管桩对准桩位,缓慢下放,吊放过程设专人监测垂直度,确保管桩垂直度偏差在允许范围,直至将管桩下放至高于孔口 2 m 左右,吊车保持管桩起吊状态。管桩吊放如图 15 所示。

图 12 管桩孔口固定

图 13 管桩接长效果

图 14 定位装置

图 15 管桩吊放至浆孔

2.4.10 铲斗与吊装带固定管桩及松脱吊钩

(1)为使管桩完全植入浆孔,使用挖掘机铲斗、吊装带和钢丝绳进行配合替代吊车完成管桩后续植入。将钢丝绳另一端勾住挖掘机铲斗挂钩,吊装带自由端勾住铲斗斗齿,使挖掘机牵拉吊装带。钢丝绳、吊装带与铲斗相互配合如图 16 所示。

(2)将保持起吊状态的管桩进一步下放深入浆孔,直至绳带完全承受管桩的重量,此时松开并摘除垂直方向的吊钩吊绳。

2.4.11 挖掘机铲斗松脱吊装带使管桩自重式植入

(1)松开吊车垂直吊钩后,挖掘机铲斗钩住吊装带向上提拉管桩,使管桩拥有足够的重力势能产生冲击力落入孔底。

(2)管桩被提拉高度超过 1 m 后,将钩挂住吊装带的铲斗斗齿向下,使吊装带从铲斗斗齿松脱,管桩在自重作用下开始朝孔底下落,如图 17 所示。

2.4.12　钢丝绳牵引吊装带

(1)吊装带松脱瞬间,管桩自由下落孔中,由于钢丝绳一端固定在铲斗背部,另一端套进吊装带,当吊装带松脱并跟随管桩下落时,钢丝绳对吊装带形成牵引作用,将吊装带活结打开,使管桩完全松脱自由植入孔底,并使吊带置于孔口。

(2)移开挖掘机及铲斗,将钢丝绳、吊装带回收,清洗干净后下一桩孔再使用。

2.4.13　送桩器吊入工艺孔内

(1)管桩植入孔底后采用送桩器送桩,送桩器长 10 m,顶部设翼板,底部设十字桩靴,桩靴插入管桩口,便于送桩器激振力传递至管桩。送桩器及其底部如图 18 所示。

图 16　钢丝绳、吊装带与铲斗配合

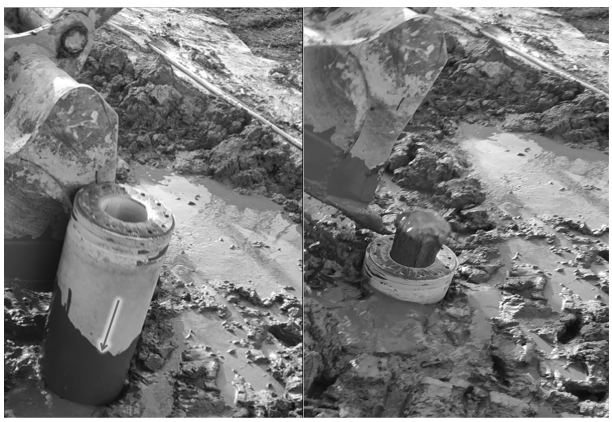

图 17　铲斗松脱吊装带使管桩下落

(2)起吊送桩器前在送桩器上做红色标记,以确定桩顶标高。随后将送桩器吊放至工艺孔内,并解开吊钩,送桩器上部翼缘大于孔口,底部悬空。

2.4.14　振动锤工艺孔内夹持送桩器

起吊振动锤,移至送桩器上部,控制振动锤夹具夹持送桩器顶部翼板,振动锤工艺孔内夹持送桩器,如图 19 所示。

2.4.15　送桩器与振动锤送桩至持力层

(1)起吊振动锤和送桩器至浆孔内,缓慢下放送桩器,直至送桩器与管桩顶部接触,调整送桩器底部管靴,使管靴与管桩顶面吻合。

(2)启动振动锤振动送桩器,当振动送桩困难,可调节振动锤频率加大激振力进行送桩。当送桩器红色标记处高出地面 1 m,即代表管桩已贯入至桩端持力层。

2.4.16　植桩养护

(1)送桩至设计标高后,缓慢提升送桩器至孔外,完成植桩。对水泥土桩和管桩进行养护,养护时间为 28 d;养护至龄期后进行开挖。水泥土复合管桩效果如图 20 所示。

图 18　送桩器及其底部

图 19　振动锤于工艺孔内夹持送桩器

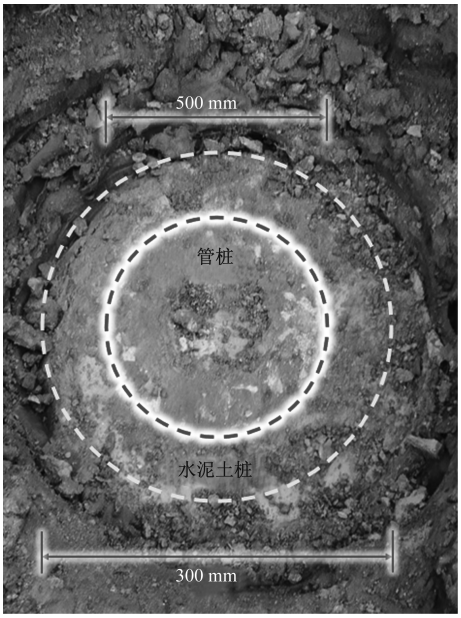

图 20　管桩与水泥土桩结合

3　结论

针对预应力管桩在基坑底部施工受限的问题，开展了以下创新工作。

(1)长螺旋引孔注浆一体施工。将长螺旋钻杆内腔与高压管连通，高压气体或高压浆体可经高压管持续输送至钻杆内腔，并由钻头喷嘴喷出。气体和浆体分别采用独立的气管、浆管进行输送，浆管和气管连接三通汇成气浆共用管，通过调节单向阀开关切换喷气或注浆，实现长螺旋引孔注浆一体连续施工。

(2)预应力管桩自重式植桩。通过长螺旋引孔注浆并形成浆孔，经吊车吊入管桩至浆孔后，通过吊装带、钢丝绳及其组合形成的牵引植入工具，与挖掘机铲斗配合接替吊车固定管桩，无需额外固定工具便可使管桩在自重作用下植入孔内。

(3)振动锤辅助送桩器沉桩到位。采用振动锤夹持送桩器，将其组合整体起吊，对植入至浆孔的预应力管桩进行送桩，同时在送桩器下部作红色刻度，使管桩准确沉入至桩端持力层，确保管桩植入到位，送桩施工灵活高效。

参考文献

[1] 黄梓焕. 建筑工程土建施工中桩基础技术的应用研究[J]. 城市建设理论研究(电子版)，2024(8)：121-123.

[2] 程沛媛，邱俊峰，王坛华，等. 预制管桩在近海公路桥梁桩基础中的应用：以福清 G324 新厝公路桩板梁桥为例[J]. 科技和产业，2024，24(4)：115-120.

[3] 郭忠峰. 预应力管桩的应用及施工技术控制[J]. 山东工业技术，2017(12)：115.

[4] 沈福安. 建筑桩基预制管桩施工技术特点及质量控制要点分析[J]. 工程技术研究，2024，9(2)：184-186.

[5] 高莹，宋新武. PHC 管桩在岩溶地区的设计及工程应用[J]. 科学技术创新，2024(3)：118-121.

[6] 刘雪颖，王永洪，张明义，等. 静压桩沉桩过程中贯入机理理论研究进展[J]. 工程地质学报，2022，30(2)：484-495.

[7] 凌造，唐孟雄，胡贺松，等. 非挤土嵌岩预应力高强度混凝土管桩的桩端承载性能研究[J]. 岩土力学，2024，45(1)：97-108.

[8] 邓亚光，郑刚，陈昌富，等. 劲性复合桩技术综述[J]. 施工技术，2018，47(S4)：262-264.

[9] 戴立. 植入法预应力高强混凝土管桩沉桩施工的质量控制要点[J]. 工程质量，2021，39(S1)：74-78.

[10] 宋俊领，王记涛，任新伟. 超前加固植入式预制桩施工方法应用[J]. 中国公路，2022(20)：110-111.

[11] 宦雯，李俊才，袁孝蓓，等. 管桩水泥土复合基桩极限承载力的设计计算[J]. 建筑科学，2018，34(5)：23-30.

[12] 周威，包华，彭杰，等. 劲扩复合桩竖向抗压承载特性对比试验[J]. 科学技术与工程，2022，22(9)：3696-3701.

Construction Technology of Long Spiral Drilling Grouting and Self-weight Pile Planting for Prestressed Pipe Piles

GAO Xianfeng[1], LI Xinlin[1], LEI Bin[2]

(1. Shenzhen Geokey Construction Group Co., LTD., Shenzhen 518063, Guangdong, China;
2. Shenzhen Gongkan Geotechnical Group Co., LTD., Shenzhen 518063, Guangdong, China)

Abstract: Aiming at the problem that the conventional prestressed pipe pile construction method is limited in the bottom of foundation pit, the method of pre-pilot hole grouting and pile planting at the pile position is put forward. By integrating the grouting system with the long spiral drilling rig, the synchronous grouting construction of the long spiral air jet drilling pilot hole and the lifting drill pipe is realized. After the cement slurry hole is formed, the prestressed pipe pile is implanted into the cement slurry hole by self-weight, and finally it is sent to the bearing layer at the pile end by the vibrating hammer and the pile feeder. The organic combination of pipe pile and cement slurry forms a high-strength cement-soil composite pipe pile, which will significantly improve the bearing capacity of the pile body, meets the normal development of construction, and ensures the quality of pipe pile planting.

Keywords: reinforced concrete prestressed pipe pile; long spiral pilot drilling grouting; self-weight planting pile; construction technology