

大直径灌注桩钢筋笼吊装及灌注成桩施工技术

邓乃匀¹, 雷 斌², 李欣霖³

(1. 深圳市工勘基础工程有限公司, 广东 深圳 518000; 2. 深圳市工勘岩土集团有限公司, 广东 深圳 518000;
3. 深圳市工勘建设集团有限公司, 广东 深圳 518000)

摘要: 目前在大直径灌注桩成桩过程中, 安放和固定在护筒顶的钢筋笼和灌注混凝土会持续对护筒叠加荷载, 容易导致护筒不同程度的沉降、变形, 严重的会引起孔口垮塌, 造成灌注混凝土质量事故等难题。为此, 研发一种孔口独立作业平台, 利用吊环分节吊装钢筋笼入孔并固定, 通过定位平台辅助钢筋笼和灌注架快速精准对中就位, 将钢筋笼吊放和混凝土灌注等工序集成在孔口平台上完成, 达到施工高效、质量可靠、操作安全、成本经济的成效。

关键词: 大直径; 灌注桩; 钢筋笼吊装; 孔口平台; 施工技术

中图分类号: TU753 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)22-0280-08

在灌注桩施工过程中, 孔口护筒起着钻孔定位、保护孔口和稳定孔壁的作用^[1-2]。在实际施工过程中, 钢筋笼吊放对接、就位后固定, 通常均在孔口护筒上完成; 灌注混凝土时, 孔口灌注架直接搁置在护筒顶完成混凝土灌注。但对于直径超过 3 m、桩深 60 m 以上的灌注柱, 其桩身钢筋笼重达数十吨, 且灌注混凝土时灌注斗及混凝土重达 45 t 以上; 在灌注成桩过程中, 安放和固定在护筒顶的钢筋笼和灌注混凝土会持续对护筒叠加荷载, 容易导致孔口护筒不同程度的沉降、变形, 严重的会引起孔口垮塌, 造成灌注混凝土质量事故, 这些问题给大直径灌注桩施工带来质量和安全隐患^[3-6]。

为了避免大直径灌注桩成桩过程中, 钢筋笼固定、混凝土灌注工序操作对孔口护筒的影响, 保证顺利灌注成桩, 本文介绍一种“大直径灌注桩孔口平台钢筋笼吊装及灌注成桩施工技术”, 经过现场试验、优化, 总结出一种高效安全和作业一体化的孔口平台施工方法, 即通过吊环分节吊装钢筋笼入孔并固定在定位平台上, 通过定位平台辅助钢筋笼和灌注架快速精准对中就位, 将钢筋笼吊放和混凝土灌注等工序操作均集成在孔口平台上完成, 施工荷载由孔口平台直接传递至地面, 避免了成桩操作工序对孔口护筒和钻孔的影响。经多个项目的实际应用, 取得了施工高效、质量可靠、操作安全、成本经济的成效。

1 应用实例

1.1 洪奇沥大桥主墩桩基础工程

洪奇沥大桥主墩桩基础工程位于广州市南沙区, 主墩承台采用 35 根 $\phi 4.0$ m 钻孔桩, 边墩、辅助墩采用 15 根 $\phi 2.5$ m 钻孔桩, 平均桩长均为 53 m, 采用旋挖钻进成孔并选用 C45 水下混凝土灌注成桩。

为了避免大直径灌注桩成桩过程中, 钢筋笼固定、混凝土灌注工序操作对孔口护筒的不利影响, 保证顺利灌注成桩, 桩基础工程研究采用“大直径灌注桩孔口平台钢筋笼吊装及灌注成桩施工技术”, 利用孔口独立作业平台, 通过吊环分节吊装钢筋笼入孔并固定在定位平台上, 将后续灌注导管安放、混凝土灌注等工序操作集成在孔口平台上完成, 施工荷载传递不经过孔口护筒, 确保了孔口稳定并提高施工效率, 取得显著效果, 得到参见单位的一致好评。

1.2 微众银行大厦项目桩基础工程

微众银行大厦项目桩基础工程位于深圳前海片区, 该项目基坑支护采用咬合桩+支撑梁形式施工, 基坑支护周长约为 400 m, 深度为 11.08~21.95 m, 桩基础拟采用旋挖钻孔灌注桩, 桩径为 $\phi 1.4$ m、 $\phi 2.4$ m、 $\phi 2.6$ m、 $\phi 2.8$ m、 $\phi 3.0$ m, 平均桩长约为 60 m。

为了避免大直径灌注桩成桩过程中, 钢筋笼固定、混凝土灌注工序操作对孔口护筒的不利影响,

收稿日期: 2024-06-05

作者简介: 邓乃匀(1998—), 男, 广东雷州人, 硕士, 助理工程师, 研究方向为岩土工程施工; 雷斌(1963—), 男, 江西吉安人, 教授级高级工程师, 研究方向为岩土工程施工; 李欣霖(1996—), 男, 广东肇庆人, 助理工程师, 研究方向为土木工程施工。

采用“大直径灌注桩孔口平台钢筋笼吊装及灌注成桩施工技术”，钢筋笼吊装和灌注成桩过程不与孔口护筒发生接触。在孔口平台的辅助下，钢筋笼和灌注架可以快速精准定位对中，同时将钢筋笼安放和桩身混凝土灌注两个工序施工集成在一个平台上操作，减少了工序转换的时间，提高施工效率，取得显著的社会效益和经济效益。

2 大直径灌注桩钢筋笼吊装及灌注成桩施工工艺

2.1 适用范围

- (1)适用于直径为 3 000~4 000 mm 的灌注桩。
- (2)适用于总重量不大于 100 t 的灌注桩钢筋笼的吊装、安放和固定等施工作业。

2.2 工艺原理

本工艺所述孔口平台主要由吊环、定位平台两部分组成，吊环呈圆形，由钢环、内侧吊板、外侧吊板、套筒组成，用于吊装、安放、固定钢筋笼；定位平台呈矩形，由钢框架、门式固定架、吊耳组成，用于钢筋笼定位、支撑吊环和灌注架、混凝土料斗就位等，其三维示意图如图 1 和图 2 所示。

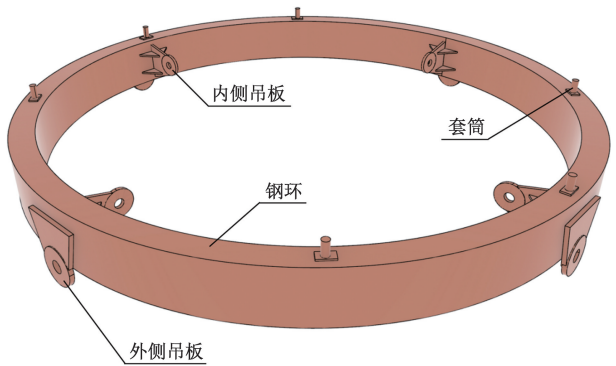


图 1 吊环的组成

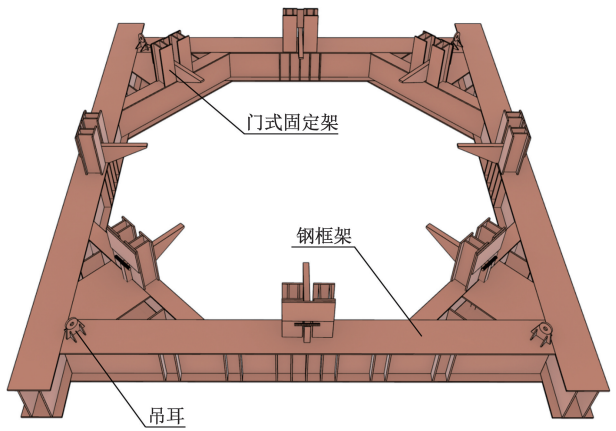


图 2 定位平台的组成

2.2.1 吊环施工原理

吊环的主体为钢环结构，在钢环内侧环向均匀布置并焊接 4 块单孔吊板，每块吊板均采用 4 块加强肋板进行固定，用于连接吊车的主吊钩和吊环；在钢环外侧对应于内侧吊板的位置布置并焊接 4 块外侧单孔吊板，用于连接吊环和钢筋笼加强筋吊板。钢环环身上设置 6 个贯通孔以及对应的 6 个套筒和垫片，用于钢筋笼孔口吊筋穿过孔洞并通过套筒固定于钢环上，以此将整个钢筋笼固定在定位平台上，保证了钢筋笼的垂直度，并在混凝土灌注过程可防止钢筋笼上浮，吊筋与吊环连接如图 3 所示。

2.2.2 定位平台施工原理

定位平台直径比护筒直径大 300 mm，施工时将定位平台吊至孔口，适当采用垫衬方木、钢板等措施对平台找平，并通过十字交叉法保持平台钢框架的中心点与桩孔中心点重合，以确保后续的工序操作精确定位，如图 4 所示。同时，终孔后钢筋笼安放、导管安放和桩身混凝土灌注等工序全部集成在平台上完成，施工荷载直接由平台均匀传至地面，确保护筒和孔壁稳定。

定位平台设有门式固定架，门式固定架由门式架和活动插销组成，沿定位平台钢框架环向均匀布置并焊接 8 组门式固定架。插销是可以活动的钢板，其利用门式架固定下入的钢筋笼，完成孔口钢筋笼接长；尾部焊接有一截把手钢筋，主要用于防止插销固定钢筋笼时移位滑落，同时在钢筋上系上绳子，便于工人拔出插销，门式架、活动插销结构施工示意如图 5 所示。

当钢筋笼完成孔口固定后，将组装好的灌注装置平稳架设在孔口平台的吊环上，使灌注架活动盖板口居中摆放。打开活动盖板，利用吊车将灌注导管吊放入孔内，通过活动盖板的限位依次对接灌注



图 3 钢筋笼吊筋与吊环连接

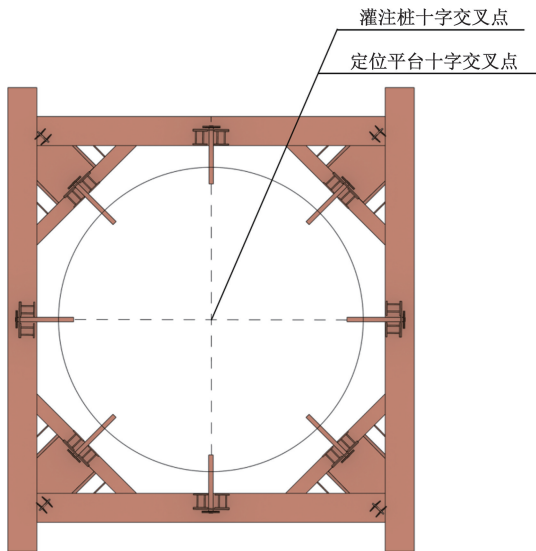


图 4 定位平台安放示意图

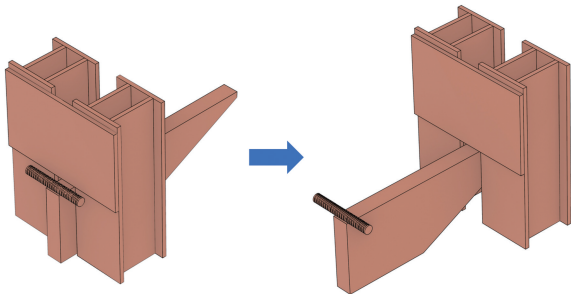


图 5 门式架、活动插销结构施工示意图

导管直下至设计深度。完成二次清孔后,在灌注导管顶部安装灌注料斗,并在灌注料斗内导管口安放球胆塞和灌注盖板,灌注料斗的竖向支撑直接架设在钢筋防护网上,如图 6 所示。

2.3 工艺流程

大直径灌注桩钢筋笼吊装及灌注成桩施工工艺流程如图 7 所示。

2.4 操作要点

- (1)施工准备。本工艺采用的施工设备整机尺寸和重量均较大,施工前对规划场地进行平整,并对局部软弱部位换填、压实,确保施工设备作业时的稳定;依据设计资料复核桩位轴线控制网和高程基准点,采用全站仪对施工桩位中心点进行现 场放样,并做好标记;根据放样桩位张拉十字交叉线,在线端处设置 4 个控制桩作为定位点;根据桩位中心点和定位点预留边长为 4 300 mm 的方形施工区域并做好标记,施工场地其余区域浇筑厚度为 30 cm 素混凝土进行硬化处理,以便机械设备移动和施工。
- (2)埋设护筒^[7]。护筒直径为 4 300 mm,长度以隔离淤泥质土确定,深度平均为 33 m,通过吊车

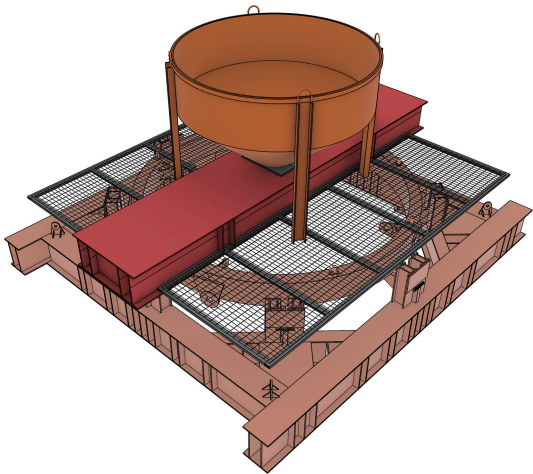


图 6 灌注架、灌注料斗安装三维示意图

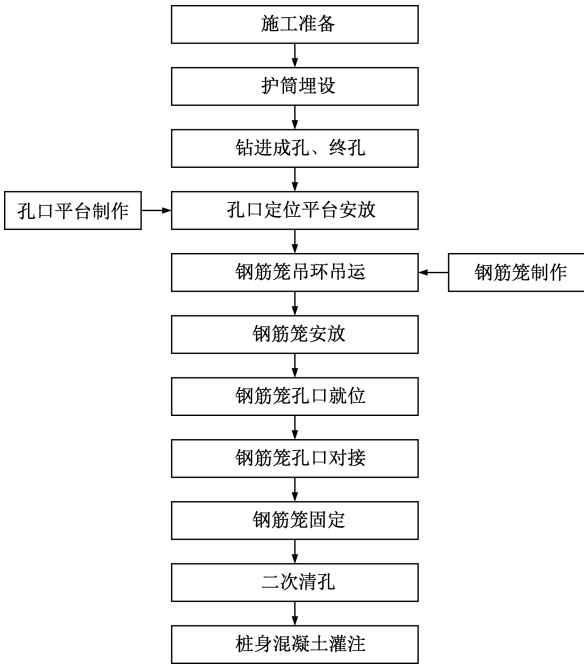


图 7 大直径灌注桩钢筋笼吊装与灌注成桩工艺流程

- 将特制的护筒安放平台吊至桩位,调整使其中心点、边线与预留的方形施工槽位对齐后进行固定;利用吊车将护筒吊放至特制安放平台内进行临时固定(图 8),并调整使护筒中心点与桩位中心点重合,同时解开护筒吊耳上的钢丝绳;通过吊车将 APE600 四夹持液压振动锤(图 9)吊至护筒顶部安装固定,启动振动锤将护筒缓慢沉入地层,当护筒顶部沉入至临近特制平台顶部时,吊离平台并将平台吊至下一桩位;启动振动锤继续振沉护筒直至护筒顶部距离地面约 300 mm 后拆卸振动锤,并利用 4 个控制桩复核护筒中心点。
- (3)钻进成孔、终孔。在桩位复核正确、护筒埋设符合要求后,采用徐工 XR700E 旋挖钻机在就位



图8 吊车吊放护筒



图10 钻机在特制钢结构平台上施工



图9 APE600 四夹持液压振动锤

准确后开始钻进,直至钻孔至设计标高;钻进过程中,旋挖钻机在特制钢结构平台上钻进施工,平台高约为300 mm,主要用于增大钻机与地面的接触面积,提高作业时的稳定性,同时均匀传递施工荷载,避免孔口坍塌,如图10所示;在上部土层钻进时,采用直径为4 m的旋挖钻斗一径到底钻进成孔;提钻时,在孔口位置稍待停留向孔内补浆,维持孔内液面高度,再将钻斗提出护筒排渣;在岩层钻进时分六级钻进^[8],选用直径为1 500、2 000、2 500、3 000、3 500、4 000 mm旋挖钻筒依次扩孔钻

进至设计深度;采用中润高质量膨润土始终调配好泥浆,保持优质泥浆护壁;现场泥浆系统采用三级沉淀循环处理,沉淀池整体尺寸为50 m×20 m×4 m;钻进过程中,定期检测泥浆性能,保持孔内护壁效果;钻至设计深度后,对成孔的孔径、孔深、垂直度等进行检查,并使用旋挖捞渣钻头进行第一次清孔。

(4)孔口平台安放。安放定位平台前,将护筒口附近场地清理干净,再采用吊车将定位平台吊至孔口;定位平台吊放时,保持平台钢框架的中心点与桩孔四个交叉中心点重合,确保后续的工序操作精确定位,调节平台水平时,适当采用垫衬方木、钢板等措施对平台找平,保证平台的平稳。

(5)钢筋笼制作。钢筋笼按设计图纸制作,由于为大直径桩,钢筋笼采用分节制作、每节12 m,制作时采用自动弯箍工艺,加快制作进度,主筋和箍筋采用点焊加强连接;主筋采用加锁母型套筒连接,在现场将锁母和加锁母型套筒依次旋入带有加长螺纹的钢筋丝头一端的螺尾处,使钢筋端头露出加锁母型套筒的端面,钢筋笼现场加工制作如图11所示。

(6)钢筋笼吊运^[9]。钢筋笼起吊设置三个吊点,吊车主钩通过吊环与第一个吊点连接,确保钢筋笼翻转竖直吊装及钢筋笼顶部不变形,副钩与第二、三个吊点连接,用于辅助钢筋笼翻身起吊;起吊前指挥吊机转移到起吊位置,司索工将钢丝绳一端穿过吊环的内侧吊板并固定,另一端套于吊车的主钩

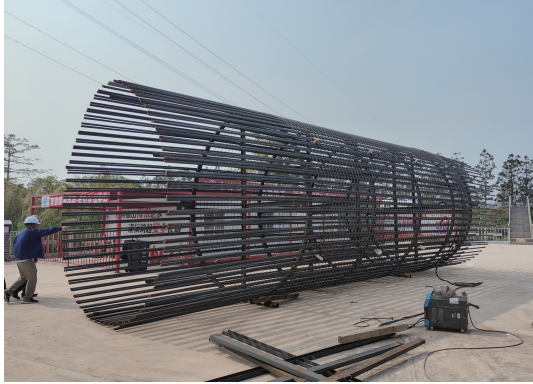


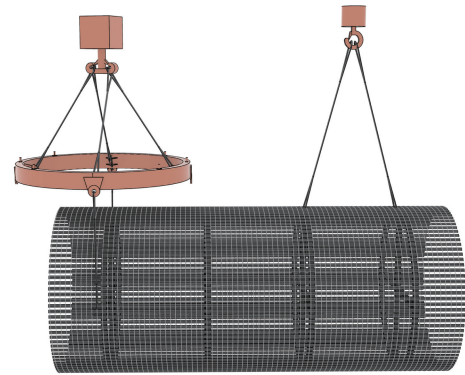
图 11 钢筋笼现场加工制作

上,通过调节 4 根钢丝绳长度使吊环处于水平状态;在钢筋笼上安装钢丝绳和卡环,挂上主吊钩及副吊钩,检查吊机钢丝绳的安装情况及受力重心后,开始同时平吊,在钢筋笼两侧设置缆风绳,并安排两个工人牵拉缆风绳保证钢筋笼在吊装过程中的平稳;钢筋笼吊至离地面 0.3~0.5 m 后,检查钢筋笼平稳后,主吊慢慢起钩,根据钢筋笼尾部距地面距离,随时指挥副吊配合起钩;钢筋笼吊起后,主钩慢慢起钩提升,副吊车主钩与副钩配合,保持钢筋笼距地面距离,最终使钢筋笼垂直于地面;指挥司索工卸除钢筋笼上吊车副钩、钢丝绳、卡环,然后远离起吊作业范围,钢筋笼起吊示意如图 12 所示。

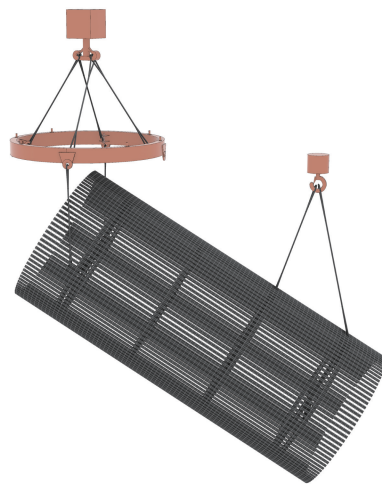
(7)钢筋笼安放。在钢筋笼孔内安放时,以定位平台中心点为参照,通过现场量测控制钢筋笼中心点与定位平台中心点重合,确保钢筋笼准确定位和保护层厚度满足设计要求,如图 13 所示;在钢筋笼吊放时,提前将门式固定架的活动插销往外拔出,让出孔口位置,便于钢筋笼下入孔内,如图 14 所示。

(8)钢筋笼孔口就位。当钢筋笼在孔口满足搭接位置时,由工人推动活动插销,插入钢筋笼加强筋位置下方,如图 15 所示。吊车将钢筋笼缓慢放下,松开加强筋吊板上的钢丝绳,首节钢筋笼在孔口固定就位。

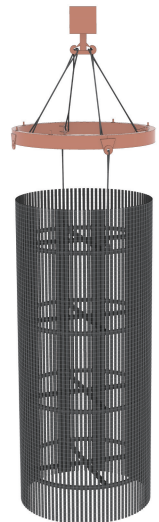
(9)钢筋笼孔口对接。在孔口确认钢筋笼垂直入孔后,通过吊车吊放第二节钢筋笼至孔口,并与首节钢筋笼对接,对接采用加锁母型套筒连接,将套筒旋入首节钢筋笼主筋钢筋丝头拧紧,再将锁母旋至套筒端面,拧紧锁母;对接完成后,工人将预先套在笼体上部的箍筋牵拉向上覆盖钢筋笼对接区段,与上方笼体箍筋搭接后采用双面焊连接固定,搭接长度按照国家标准执行,主筋和箍筋之间采用



(a) 采用吊环起吊钢筋笼



(b) 主、副吊钩配合起吊



(c) 钢筋笼起吊完成

图 12 吊环起吊钢筋笼示意图



图 13 钢筋笼安放现场施工

点焊连接,如图 16 所示。

(10)钢筋笼固定。最后一节钢筋笼采用吊筋

就位,利用 6 根 C36 吊筋连接吊环和钢筋笼,根据笼顶标高和焊接长度计算吊筋长度,起吊前将吊筋插入吊环预留孔洞内,并采用加锁母型套筒进行固定;采用吊车将最后一节钢筋笼吊放至孔位,与下方笼体完成套筒连接和箍筋布设后,将整个



图 14 拔出活动插销让出孔口位置

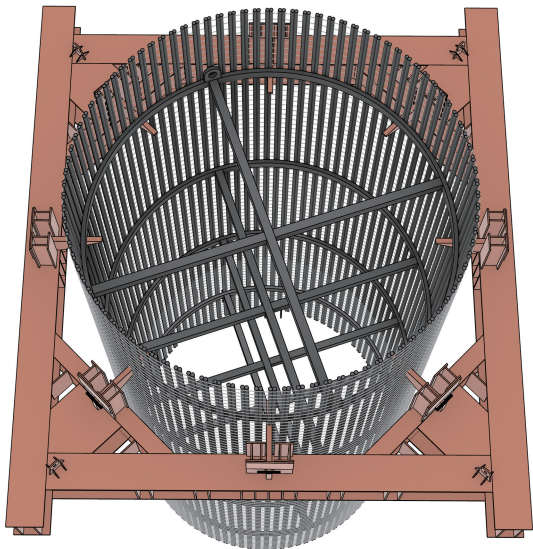


图 15 钢筋笼临时固定



图 16 钢筋笼对接区段布设箍筋

钢筋笼下放至合适位置,对吊筋和相应位置的主筋进行满焊连接,解除吊环外侧吊板的钢丝绳;将活动插销推入,通过定位平台十字交叉点调整钢筋笼对中,下放钢筋笼直至吊环支撑在活动插销上,确认钢筋笼垂直入孔后,解除吊环内侧吊板的钢丝绳,如图 17 所示,施工现场钢筋笼固定完成如图 18 所示。

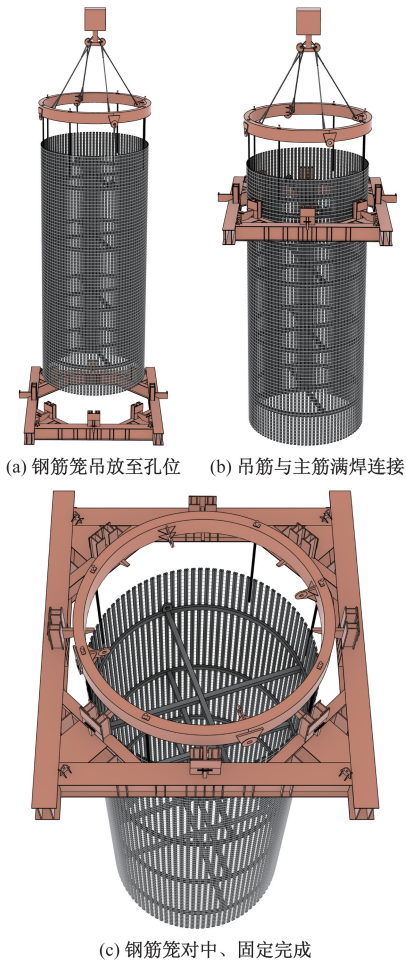


图 17 钢筋笼完成最终固定示意图



图 18 钢筋笼固定完成

(11)二次清孔。由于深孔作业时间长,孔底沉渣多,在灌注混凝土前进行二次清孔;二次清孔采用潜孔电泵反循环清孔,将泵下至孔底直接抽吸孔底沉渣,并排入泥浆净化器分离;潜水电泵直接与灌注导管连接,将导管下入孔内、开启潜水电泵开始清孔。

(12)桩身混凝土灌注^[10]。二次清孔完成后,将钢筋防护网、灌注架平稳架设在孔口平台的吊环上,使灌注架活动盖板口居中摆放,打开活动盖板,利用吊车将外径 450 mm、壁厚 15 mm 的大直径孔专用灌注导管分段下入孔内;在灌注导管上安装灌注料斗,同时在料斗内导管口处安放球胆塞和灌注盖板,并用水进行湿润;桩身混凝土选用 C45 水下混凝土,坍落度 18~22 cm,采用 3 台臂架泵车同时灌注。由于桩径大,在孔口边上搭设混凝土输料架配合灌注料斗进行初灌,如图 19 所示;灌注过程中,保持混凝土灌注连续进行,定期测量导管埋管深度、孔内混凝土面上升高度,及时拔管、卸管,保持导管埋管 2~4 m;当桩身混凝土初凝后,解除吊筋和吊环的连接,采用吊车将定位平台和吊环吊运至下一桩位施工,并及时在护筒周围布置安全防护栏杆,如图 20 所示。

2.5 工艺特点

(1)施工高效。孔口平台成套制作,采用吊车将平台中心点与桩中心点对准就位,安装操作便捷;在安放钢筋笼时,通过工人操作活动插销,可精准控制钢筋笼对中与固定;灌注桩身混凝土时,将孔口灌注架对准平台中心就位,即可完成导管安放和灌注斗就位,整体工序操作高效便捷。

(2)质量可靠。孔口平台就位时,其中心点与钻孔中心点的十字交叉点重合,可确保后续钢筋笼准确就位;通过吊筋连接吊环与钢筋笼,可保证钢筋笼的垂直安放;钢筋笼通过吊筋在平台上固定,在混凝土灌注过程中可准确控制灌注导管中心位置,并有效防止钢筋笼上浮,确保灌注成桩质量。

(3)操作安全。孔口平台属于孔口护筒外设置的独立作业平台,平台采用框架式设计、高强度钢材制作,自身稳定性好、承重能力强,大直径钢筋笼、灌注桩身混凝土等成桩工序施工,均通过平台完成操作,施工过程不与护筒发生接触,避免孔口护筒变形,成桩全过程操作安全可控。

(4)成本经济。本工艺将钢筋笼安放和桩身混凝土灌注两个工序施工集成在孔口作业平台上操作,减小了工序转换时的吊装作业;平台所用的钢



图 19 混凝土输料架



图 20 解除吊筋和吊环的连接

材如钢板、钢筋等从现场直接取用,现场制作成本低,且平台可以循环利用,具有较高的经济性。

3 结语

针对大直径灌注桩钢筋笼安放和混凝土灌注的难题,“大直径灌注桩孔口平台钢筋笼吊装及灌注成桩施工技术”利用孔口独立作业平台,通过吊环分节吊装钢筋笼入孔并固定在定位平台上,通过定位平台辅助钢筋笼和灌注架快速精准对中就位,同时将钢筋笼吊装固定、灌注导管安装、灌注混凝土等工序集成在一个平台上完成,完全避免了成桩工序对孔口护筒的不利影响,保证顺利成桩,达到了施工高效、质量可靠、操作安全、成本经济的效果,取得了显著的社会效益和经济效益,为大直径灌注桩钢筋笼安放和混凝土灌注施工提供了一种新型、实用的方法,具有良好的可操作性,易于技术

推广,并对现场施工操作流程提供具体的指导建议,具有现实的指导意义和推广价值,市场前景广阔。

参考文献

- [1] 王中文. 钻孔灌注桩孔壁稳定性的影响因素研究[J]. 公路交通科技, 2011, 28(1): 86-90.
- [2] 雷斌, 夏海林, 叶坤, 等. 淤泥填石层长护筒、冲抓、旋挖钻孔桩配套施工技术[J]. 岩土工程学报, 2013, 35(S2): 1184-1187.
- [3] 李凯. 大直径灌注桩深长护筒多功能钻机接驳埋设技术[J]. 科技和产业, 2023, 23(2): 224-231.
- [4] 李媛媛, 俞瑾, 曹平周. 超大直径钻孔灌注桩成桩过程的钢护筒受力分析[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2018, 40(1): 54-58.
- [5] 汪德隆, 何旭斌, 吴建中. 大直径钻孔桩钢护筒变形及处理[J]. 桥梁建设, 2006(1): 66-69.
- [6] 房皓, 王多银, 杨越. 基于跨中竖向和环向角度分析的薄壁钢护筒-钢筋混凝土组合构件单向偏心受压问题[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(7): 257-264.
- [7] 陈雪峰, 孙金柱. 振动锤下钢护筒气举反循环清孔旋挖钻孔施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(1): 73-76.
- [8] 刘彪. 大直径灌注桩硬岩旋挖导向分级扩孔施工技术[J]. 科技和产业, 2022, 22(8): 336-343.
- [9] 员利军. 大直径超长桩基钢筋笼制作及吊装施工技术[J]. 科技与创新, 2017(20): 160-161.
- [10] 房江锋, 赵鑫波, 郭秋苹, 等. 超深大直径旋挖桩水下混凝土灌注工艺研究[J]. 山西建筑, 2022, 48(7): 52-55.

Construction Technology of Large-diameter Cast-in-place Pile Reinforcement Cage Hoisting and Cast-in-place Pile

DENG Naiyun¹, LEI Bin², LI Xinlin³

(1. Shenzhen Geokey Foundation Engineering Co. LTD., Shenzhen 518063, Guangdong, China;

2. Shenzhen Geokey Group Co. LTD., Shenzhen 518063, Guangdong, China;

3. Shenzhen Geokey Construction Group Co. LTD., Shenzhen 518063, Guangdong, China)

Abstract: At present, in the pile-forming process of large-diameter cast-in-place piles, the reinforced cages and pouring concrete placed and fixed on the top of the pile casing will continue to superimpose loads on the pile casing, which will easily lead to the settlement and deformation of the pile casing in different degrees, and seriously lead to the collapse of the orifice and the quality accident of pouring concrete. Therefore, an independent working platform with openings was developed, in which reinforcing cages were hoisted and fixed in sections by using lifting rings, and reinforcing cages and pouring frames were quickly and accurately centered and positioned by positioning platforms, and the processes of hoisting reinforcing cages and concrete pouring were integrated on the opening platform, so as to achieve the effects of high construction efficiency, reliable quality, safe operation and economical cost.

Keywords: large diameter; cast-in-place piles; reinforcement cage hoisting; orifice platform; construction techniques