

滨海地区软弱地层大直径超长桩垂直度控制

刘玥岩 程 绰 黄文明 匡丕榜 李玲珑

中国建筑一局(集团)有限公司, 广东 深圳 518000

[摘要]滨海地区其软弱地层条件下的大直径超长钻孔灌注桩由于地层承载力弱、桩径较大、桩长较长,导致桩身垂直度控制难度大,成桩质量往往得不到有效保证,在滨海地区桥梁工程施工中一直是较为棘手的问题。汕头市汕北大道项目团队通过对外砂河特大桥桥梁工程的桩基施工实践,深入研究了桩基垂直度的控制方法,将其中的钻机选型、钻进过程控制等关键技术进行对比分析,总结了在滨海地区软弱地层条件下控制大直径超长桩垂直度的施工经验,可为类似工程提供参考。

[关键词]大直径超长桩;垂直度;钻孔方式;承载力;超声波检测

DOI: 10.33142/ec.v3i8.2388

中图分类号: U445.551

文献标识码: A

Verticality Control of Large Diameter and Super Long Piles in Soft Stratum in Coastal Area

LIU Yueyan, CHENG Chuo, HUANG Wenming, KUANG Pibang, LI Linglong

China Construction First Group Corporation Limited, Shenzhen, Guangdong, 518000, China

Abstract: Large-diameter and super-long bored piles in coastal areas under weak stratum conditions are difficult to control the verticality of pile body due to weak stratum support, large pile diameters, and long pile lengths, and the pile quality often cannot be effectively guaranteed. It has always been a difficult problem in the construction of bridge projects in coastal areas. Through the pile foundation construction practice of Waishahe bridge project, Shantou Shanbei Avenue project team deeply studied the control method of pile foundation perpendicularity, compared and analyzed the drilling rig selection, drilling process control and other key technologies, and summarized the construction experience of controlling the verticality of large diameter and super long pile under the condition of weak stratum in coastal area, which can provide reference for similar projects.

Keywords: large diameter and super long pile; verticality; drilling method; bearing capacity; ultrasonic testing

1 工程概况

外砂河特大桥位于汕头市,桥梁全长 1919m,总造价约 5.5 亿。桥址位于外砂河入海口,河面宽约 500m,水深 3~4m。外砂河特大桥陆地桩基 323 根,水中桩基 78 根,最大桩径 2m,最大桩长 129m,属于大直径超长钻孔灌注桩。

施工区域地处滨海沉积区,软土发育,基岩埋深大,地势低平,地形平坦,相对高差较小,海拔高度 1.2m~3.09m。区域地质属软弱地质条件,浅海—海湾相沉积土淤泥、淤泥质粉质粘土、粉细砂、中粗砂层组成为松散沉积层,海陆交互相沉积土粘性土、砂、砂砾、卵石,在垂直向上粒度由下而上由粗变细;第四纪松散浅海、海湾相沉积层沉积厚度较大,属多层结构软基。软土层厚,具多层结构,淤泥质土层厚度 1.50~23.90m,对桩基施工稳定性有较大不良影响,地质条件复杂,地层工程力学性质较差。

由于地质条件以粉质黏土、软土、砂层为主,降水量丰富水系发育,使得地层支撑力弱易坍塌,客观上对桩基施工以及垂直度的控制造成了一定的影响。

2 桩基垂直度控制重难点分析

(1) 大直径超长桩的桩基础钻孔方式和钻机选型对成桩质量和垂直度有重大影响,根据工程的施工要求和地质条件选择合适的钻孔方式和钻机型号非常重要。

(2) 饱和砂土层液化,桩基护筒在插入深度不足的情况下,护筒底部易出现漏浆情况扰动砂层,严重时会造成上部地基沉降,钻机位置不稳定,导致

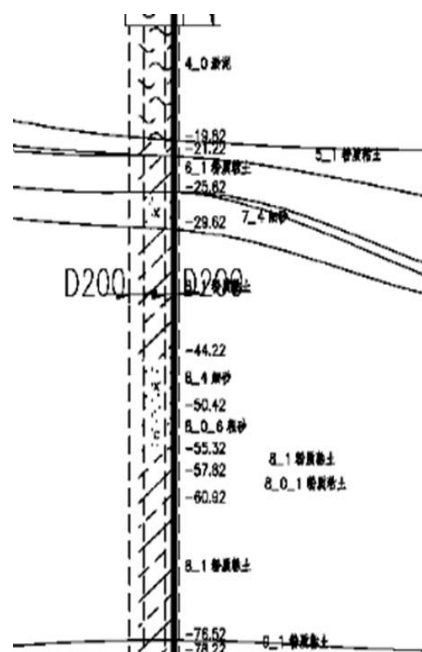


图 1 外砂河特大桥 31#桩基地质条件

钻孔偏移。

(3) 钻机钻孔时，钻头自重不足，在遇到孤石或地层界面倾斜或软硬不均匀地层处钻头受力不均，易向软弱土层处偏移。

(4) 水中桩基直径较大，护筒受水流冲刷受力面积大，下护筒时在湍急水流的冲击下难以准确定位，造成护筒位置偏移。

3 桩基垂直度控制关键技术

3.1 钻孔方式

钻孔灌注桩是指采用不同的钻孔方法，在土中形成一定直径的井孔，达到设计标高后，将钢筋笼吊入井孔中，灌注混凝土形成的桩基础。常用钻孔方式有以下三种：冲击钻机钻孔、旋挖钻机钻孔、回旋钻机钻孔。

冲击钻机钻孔：利用冲击钻机将钻刃的重钻头（冲锤）提高，靠着自由下落的冲击力来切削岩层，排出岩石碎渣以成孔。钻孔性能强，对较硬地层可以有效进行钻孔作业，但排屑困难较大，并且对软土地层和粘度较大的土层钻孔有较大的难度，故未采用冲击钻机钻孔。

旋挖钻机钻孔：旋挖钻通过钻斗的旋转、削土、提升、卸土循环而成孔，自动化程度高，但由于自重在地基承载力弱的面层易倾斜，软土地层钻进速度控制不当易引起塌孔、缩径，故未采用旋挖钻机钻孔。

回旋钻机钻孔：又称正反循环成孔，用一般钻机在泥浆护壁条件下钻进，通过泥浆排渣成孔，灌注混凝土成桩，为国内最为常用和应用范围较广的成桩方法。由于回旋钻机钻杆直径、钻管壁厚、扭矩都足够大，钻头摆动小易控制垂直度，打软土地层、砂层速度快，成桩质量高，因此外砂河特大桥桩基全部采用该种钻孔方式。^[1]

表 1 钻孔方式优缺点比较

钻孔方式	优点	缺点	适用范围
冲击钻机钻孔	钻孔性能强，对较硬地层可以有效进行钻孔作业	排屑较为困难，且对软土地层以及粘度较大的土层钻孔有较大的难度	适合硬度较高的风化岩层及硬脆的地质环境
旋挖钻机钻孔	钻进效率高，施工精度高，自动化程度高	钻机自重大，对场地地基承载力要求严格，孔壁护壁差，软土地层钻进速度控制不当易引起塌孔、缩径	适合各种复杂地层
回旋钻机钻孔	回旋钻打软土地层、砂层较快，成孔质量高，易控制垂直度	回转钻机难以应对强风化层之外的更硬的地层	适合软土地层

3.2 钻机选型

外砂河特大桥桥梁工程在钻孔方式上选择回旋钻机成孔后，进行钻机选型，回旋钻机常用型号有三种——GF300、GF350、GF400。

钻机是由动力带动钻机钻盘，钻盘带动主钻杆，主钻杆带动三翼钻头，依靠钻机主机及钻杆自重实现向下钻进的功能。通常，钻机主轴扭矩越大、钻机钻速越慢、钻机钻杆自重越大，钻机钻进过程中越平稳，桩基成孔质量越好；钻机钻速越快，钻机进尺越快，钻杆扰动越明显，桩基成孔质量越差。

因此若要保证桩基成孔质量，就要求钻机具备以下特点：主轴功率扭矩大、钻杆直径大壁厚大、钻头自重大、结构更稳固、应对不同地质条件匹配不同钻机速度的特点。

表 2 钻机主要参数表

主要参数	GF300	GF350	GF400
钻孔深度	100m 以内	200m 以内	300m 以内
钻孔直径	800mm~4000mm	800mm~4000mm	1000mm~5000mm
主轴功率	11Kw*2	15Kw*2	18.5Kw*2

(续表)

主要参数	GF300	GF350	GF400
泥浆泵流量	960m ³ /h	1100m ³ /h	1200m ³ /h
泥浆泵功率	45Kw	55Kw	75Kw
整机功率	120Kw	150Kw	200Kw
钻杆	219mm*2000mm	273mm*2000mm	325mm*2000mm
整机尺寸	9m*2.4m*3.3m	9m*2.4m*3.3m	9m*2.4m*3.3m

外砂河特大桥桥梁工程根据桩径、桩长和施工地质条件,选定 1.6m 及以下的桩基采用 GF300 钻机进行施工,1.8m 桩基采用 GF350 钻机进行施工,2m 桩基采用 GF400 钻机进行施工。

为了较好的控制桩基的垂直度,保障后续钢筋安装的顺利进行,针对 1.8m、2.0m 的桩基,需要对钻头进行改进,采用双护圈钻头。一般情况下,多护圈钻头的稳定性优于单护圈钻头,增加护圈,加大钻进组件自重可有效减小钻头在钻进过程中因地层结构变化而产生的摆动,保证钻机的稳定性和垂直度。



图 2 GF350 型反循环钻机



图 3 双护圈钻头

3.3 场地准备

(1) 陆地桩基场地准备

软弱地层承载力弱且土层处于水饱和状态,受压极易变形,且在浅覆土层打孔易造成塌落滑坡,钻机难以平稳水平放置,影响钻孔垂直度。因此对于软土地基、松软土层、含水量大的土层应进行压实、排水处理,以增强地基承载力。

安放护筒时,由于采用双夹振动锤进行施工,周围土体发生剧烈振动从而使粉质黏土、软土中的孔隙水出露,导致护筒下沉时因孔隙水压力造成偏位。因此在软土区域施工前也应堆载预压充分释放软土内的孔隙水,使得护筒下沉时垂直度得到保证。

(2) 水中桩基场地准备

外砂河特大桥桥梁工程水上作业采用搭设钢结构临时栈桥的方案。

随着钻机钻进深度的不断增加,钻机自重也在不断增加,若钢栈桥平台不够平整、稳定,易导致成孔桩基垂直度不满足要求。因此在钻机就位前,需对施工作业平台进行验收,保证其桥面水平、结构牢固。^[2]

在进行水中桩基施工的钢栈桥平台搭设时需采用足够的限位装置并采用 20mm 厚钢板与主栈桥进行连接,以保证钢栈桥平台的整体性。在进行水中桩基施工时需规划好材料分区,保证施工中不进行大型机械的移动,从而确保钢栈桥的稳定性。钻机在钻进过程中易产生晃动,在钻机支腿位置铺垫钢板,支腿支设在方木上,可以有效减小钻机钻进过程中产生的晃动。

3.4 测量放样

桩位放点严格执行三检制度,即施工队伍自测、项目部复测、监理工程终测,三次测量仪器需不同,避免仪器自

身出现误差。桩位定点后,应拉十字线,及时设置护桩,护桩应加以保护。

水中桩基桩位复测完成后,应根据复测结果,计算出预留孔洞各边与钢护筒外边界的距离,并记录详细。桩基施工队伍应根据计算距离在施工平台上焊接限位槽钢或者导向架,以保证后续钢护筒安装的位置与垂直度。

3.5 钢护筒埋设

钢护筒在钢筋加工场进行加工,以便控制钢护筒的外观尺寸。对于直径 2m 以下的桩基,钢护筒内径设置比桩径大 20cm;直径 2m 以上的桩基,钢护筒内径设置比桩径大 30cm。护筒加工需在两端设置十字撑,避免护筒运输变形导致垂直度受影响,十字撑在钢护筒对接前需割除。

(1) 陆地桩基钢护筒埋设

对于陆地桩基,钢护筒采用壁厚 8mm 的 6m 长钢护筒,钢护筒安装位置根据桩位确定,并由护桩辅助控制。陆地桩基下护筒使用 DZ-60 振动锤进行施工,施工时严格控制护筒垂直度,可采用在垂直方向上设置 2 个吊锤的方式进行控制,发现护筒不竖直应及时调整,若倾斜度较大应拔起重新安装。

(2) 水中桩基钢护筒埋设

对于水中桩基,钢护筒长度的选择应考虑护筒底内外水头压差的影响,避免造成管涌现象。钢护筒长度的计算方法,即护筒内泥浆的静水压力和护筒外水压力、土压力的等效压力相等。根据计算,外砂河特大桥水中护筒长度设置为 21m,采用 10mm 钢板卷制而成。

因护筒长度较长,直径较大,护筒入土深度达 12m,施工时不宜使用单夹锤进行施工,避免施工时护筒因偏心受力,在焊接薄弱处断开。护筒安装时,焊缝应饱满,并沿接头设置 8 块加劲板,确保焊接强度及防止渗水。本工程采用的是 SV150 液压双夹振动锤进行钢护筒安装,垂直度采用在垂直方向上设置 2 个吊锤的方式加以控制。^[3]



图 4 水中桩基护筒埋设

水中桩基直径长,护筒受水流冲刷受力面积大,下护筒时在湍急水流的冲击下难以准确定位。实时观测外砂河潮水情况,在水位较低,水流较缓的情况下进行施工作业不仅可以有效减少护筒的偏移,还可以保证操作平台与钻机的稳定性。在下护筒前,先定位护筒外径在水中的位置,在垂直水流方向和下游方向插打三根定位槽钢或者在操作平台上安装导向架,可帮助护筒抵挡水流冲刷力,以便准确定位护筒,如图 5 所示。

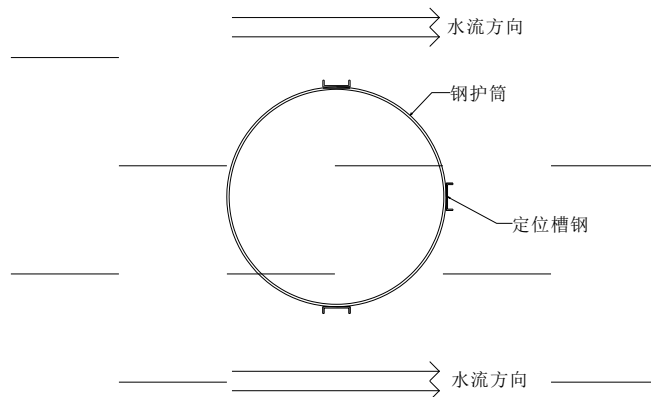


图 5 定位槽钢示意图

3.6 钻机架设与钻进中控制垂直

钻机就位前应复核桩位中心及护桩的有效性；通过护桩拉出十字线，配合线锤将钻机对准桩位；钻机就位后，使用水平尺测量钻机龙门架垂直的两个方向是否分别垂直。



图6 钻机龙门架垂直度检测

钻进中每进尺 2m 都应该校核一次钻机的垂直度，遇到黏土层或坚硬地层，进尺困难时，应加强监测，以保证钻机始终处于竖直状态。若钻机过程遇孤石，且进尺困难，应及时更换筒钻打捞孤石后继续钻进，不可强行进尺，以免造成偏桩。若遇软硬不均地层时，应降低钻进速度。^[4]

3.7 泥浆性能指标控制

泥浆的制备和清孔是确保钻孔灌注桩垂直度和工程质量的关键环节，对于施工规范中泥浆的控制指标如粘度测定 17-20min、含砂率不大于 6%等在钻孔灌注桩施工过程中应严格控制，选用高塑性粘土或膨润土，拌制泥浆必须根据施工机械、工艺及穿越土层进行配合比设计。在外砂河特大桥施工中，主要用泥浆比重仪来检测泥浆的相对密度、粘度、含砂率这三项指标，如表 3 所示。当泥浆指标超标时，根据不同情况，采用不同方法予以净化改善，并匹配合适的转速，以确保孔壁形态的稳定并最大程度地减小钻头、钻杆的摆动，保障成孔的垂直度。清孔后，指标若超标，则净化改善至符合要求。

表 3 泥浆性能指标

阶段	泥浆性能指标		
	相对密度	粘度 Pa. s	含砂率%
施工中	1.20-1.45	19-28	≤6
清孔后	1.05-1.20	17-20	≤2

3.8 钢筋笼制作与安装

制作和运输中必须保证每节钢筋笼的垂直度，相邻 2 节钢筋笼在制作时应预拼，并做好标记，加装十字撑以确保钢筋笼在存放及运输过程不发生形变，但在钢筋笼安装完成后应去除，避免卡管。钢筋笼安装过程中，现场管理人员需要全程跟进，确保安装工人无违规操作，保证两节钢筋笼的接头旋入度达标，连接处平直无变形，保障钢筋笼整体的垂直度。



图7 钢筋笼安装

钢筋笼安装完成后,应按要求进行中心对中,使钢筋笼中心点与桩基点位误差在 2cm 以内,并在钢筋笼顶焊接限位钢筋,避免灌注过程中钢筋笼位移。

4 垂直度检测

垂直度检测技术方法是超声波成孔检测,即应用超声波反射技术对钻孔灌注桩成孔质量进行综合检测的技术。将超声波检测设备固定在孔口,超声波发射、接收探头在电缆的牵引下,沿充满泥浆的钻孔中心以一定速度下放,在下放过程中,超声波探头连续向孔壁垂直定向发射固定频率的超声波脉冲,同时探头连续接收孔壁处的反射波,根据声波的走时及声波的传播速度,确定探头与孔壁的距离。



图8 外砂互通B匝道11-0#成孔检测

将探头测定的水平距离连续绘制记录,便可反映处不同断面钻孔的直径、倾斜度及深度,从而判定成孔的质量。根据现行的桩基施工、验收规范等控制性文件,钻孔灌注桩垂直度偏差应小于 1%。

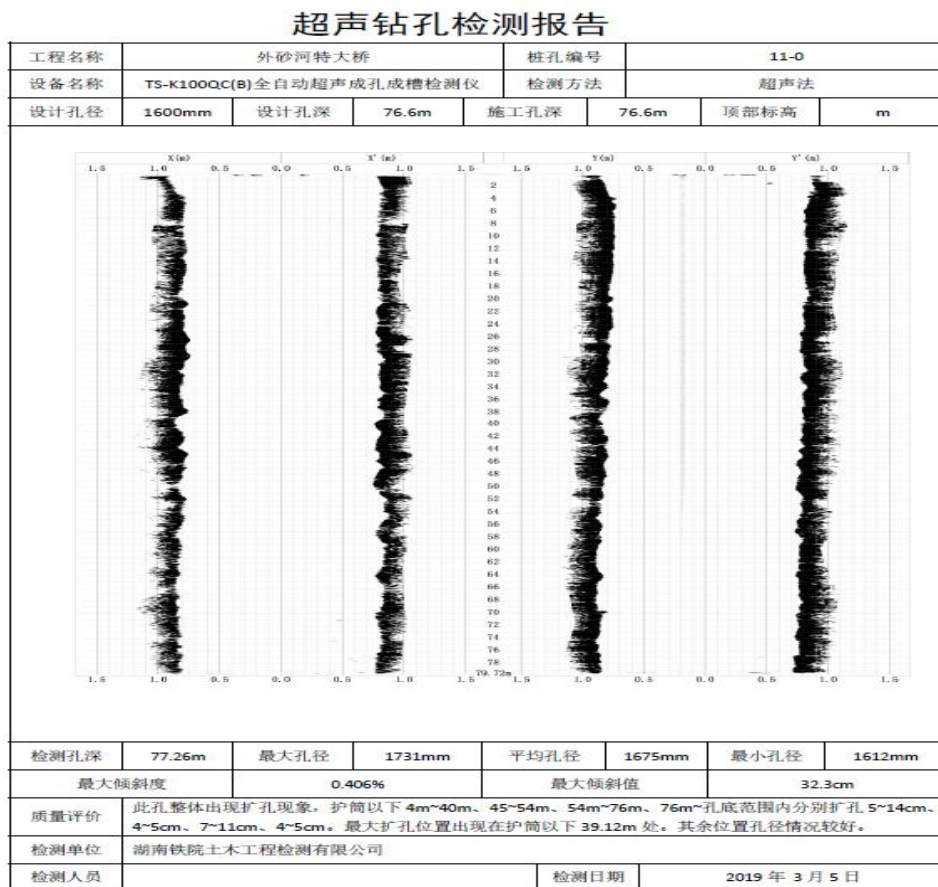


图9 外砂互通B匝道11-0#成孔检测报告

根据超声钻孔检测报告,将数据绘制成折线图,如图4-3,由图表趋势可知,通过一系列的垂直度控制措施,外砂河特大桥桩基成孔倾斜度由2019年1月至3月的0.4%—0.5%减小到基本稳定在0.2%,垂直度得到有效控制。并且由超声波检桩、桩基钻芯法检测等检测报告反馈,可确定成桩质量符合国家标准规范要求。

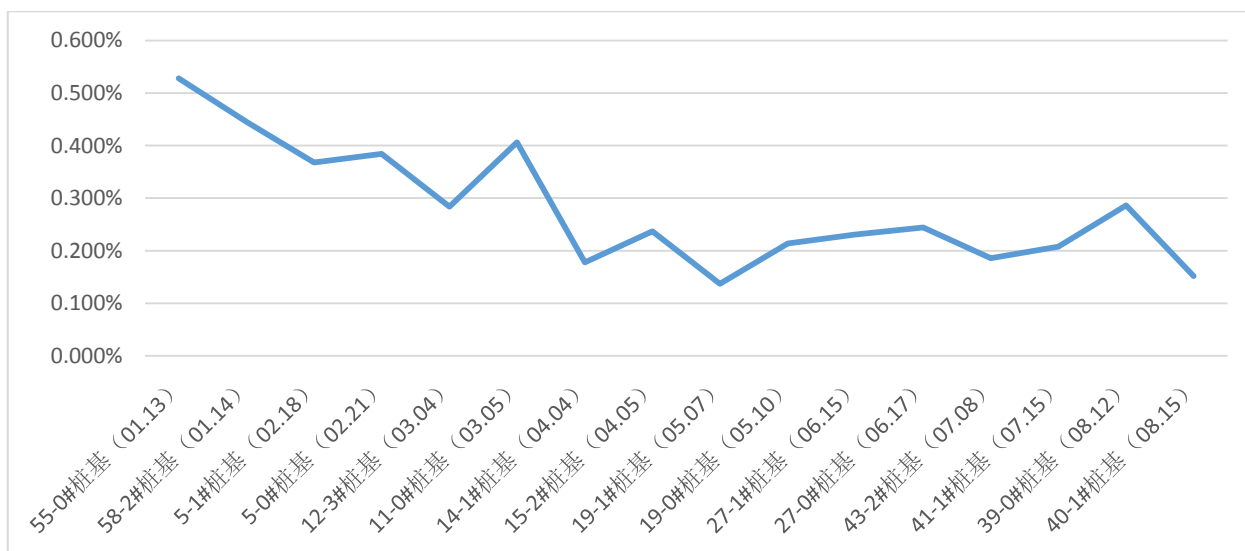


图 10 桩基成孔检测垂直度折线图

5 结语

滨海地区软弱地质条件下很难满足国家标准规范要求,导致桩基质量不甚理想。外砂河特大桥桥梁工程技术团队经过长期研究实践,通过钻孔方式、钻机选型、场地平整稳定、钢护筒与钢筋笼控制等方式,使桩基的垂直度控制水平得到明显提升,保证了桩基质量,加快了施工效率,减少了施工成本,取得了良好的社会 and 经济效益,可为滨海地区类似软弱地质条件大直径超长桩施工提供参考。

[参考文献]

- [1]陈晓鸿. 滨海沉积区特大桥超长桩基施工技术[J]. 广东土木与建筑,2019,26(05):65-67.
- [2]巩伯斌. 复杂环境下超长空桩桩基施工技术研究[J]. 建材与装饰,2019(26):2-3.
- [3]王军. 季节性河流浅覆盖层大直径水中桩基钢护筒关键施工技术[J]. 公路交通科技(应用技术版),2019,15(06):212-214.
- [4]廖万和. 龙湖大桥深水桩基础施工工艺探讨[J]. 四川建材,2019,45(04):145-146.

作者简介:刘玥岩(1997.9-),男,毕业院校东北大学,本科,资源勘查工程专业,当前就职中国建筑一局(集团)有限公司,从事技术工作2年,助理工程师。