

淤泥地质中灌注桩旋挖成孔工艺研究与应用

陈璇璇, 纪晓林

(中交一航局第二工程有限公司)

摘要:为解决旋挖钻机钻孔施工穿越层厚较大的淤泥质软土时钻头钻进会对桩孔周边土体产生剪切扰动,从而引发桩孔壁产生向外的压力并与泥浆产生融合,进而引发桩孔周边土体缩径甚至塌孔,造成护筒下沉和桩孔周边地面沉降,严重时引发混凝土灌注施工超方和断桩的问题,采用优化旋挖钻机钻进工艺,针对不同地质选用合理的钻进速度以减少钻头对孔壁的扰动,选取合适的泥浆配比确保泥浆的性能满足钻进需求,采用合理的清孔工艺等方法解决问题。经实践应用效果良好,可供类似工程参考借鉴。

关键词:灌注桩;孔底沉渣;清孔;泥浆;配合比;塌孔

1 工程概况

新建合肥至武汉高速铁路湖北段站前工程HWZQ-4标段,正线长31.439 km,涉及桩径有1.0 m、1.25 m、1.5 m、1.8 m,墩桩基按摩擦桩设计,施工除满足设计桩长外,还要求桩底嵌入弱风化岩层不小于设计说明要求的最小嵌岩深度。施工区域地质上部为粉质黏土、含砾粉质黏土、砾砂,上覆土层的密封性相对较好,地下水位波动不频繁、季节变化幅度大;中部为淤泥软塑、淤泥质粉质黏土、砂土等软弱结构地层;底部为强风化泥质砂岩,稳定性好,具有一定承载力。

2 施工特点及难点

本项目桩基设计桩身较长,普遍成孔深度在60 m以上,最大成孔深度近80 m,提钻较频繁,成孔时间较长。地质较复杂,淤泥质地层较厚,穿越淤泥地层后接较厚砂层,钻机在穿越淤泥地层和砂层时,非常容易出现塌孔和缩径。泥浆含砂率高,桩底沉渣形成较快,二次清孔时间较长,清孔过程中易出现塌孔。工序衔接间隔时间长,易导致沉渣堆积过厚,增加清孔难度。二次清孔时间长,易导致孔壁坍塌,增加清孔难度。在项目开工阶段,第1根、第2根桩均出现了缩径和塌孔,采取了回填处理,经原因分析和多次试验调整后,重新钻进成孔。

3 问题原因及分析

经过分析研究,发现特殊地质、泥浆选配、钻进操作、工序衔接、二次清孔等方面是导致缩径、塌孔的主要原因。

3.1 塌孔和缩径

1) 地质较复杂,淤泥层结构松软、含水率高、孔隙率大,呈流塑或软塑状态,砂层黏结力小、整体性差,在提钻下钻过程时,2种地层自稳性均较差,容易出现孔壁缩径和坍塌。

2) 泥浆类型选择和配比未经过反复试验,工况适应性差,不能满足特殊地质护壁要求。

3) 孔内泥浆液面高程控制不到位,添补泥浆不及时,导致孔内泥浆液面低于地下水位,形成孔壁负压力,地下水流入冲塌孔壁。

4) 应对特殊地质钻机成孔操作经验不足,钻进速度快,护壁形成效果差,钻头提升下降速度过快,钻头粘黏的淤泥清理不及时,在提钻过程中容易“吸钻”,形成活塞效应。

3.2 清孔困难

1) 砂层较厚,钻进搅合泥浆后,泥浆含砂率较高,导致沉渣持续形成。

2) 泥浆配比不适合,护壁形成效果差,携渣能力不足,导致砂砾沉淀较快。

3) 钢筋笼下放、报检验收整改等时间过长,导致成孔后及二次清孔后,进行下道工序间隔时间较长,期间形成较大厚度渣层,清理难度大,甚至需要三次清孔。

3.3 泥浆问题

泥浆拌制是桩基施工的重点之一,在钻孔过程中起护壁和悬浮钻渣的作用,且钻进速度和成孔质量与泥浆及泥浆循环系统有密切关系。钻孔泥浆按地质情况反复试配,如果采用不合适的泥浆,将会造成护壁效果减弱,沉渣较厚,清孔无

作用,无法进行下一步工序,导致施工成本增加。

前期选择的泥浆配比不能满足项目地质要求。黄黏土泥浆护壁效果不及膨润土泥浆,膨润土泥浆配比未达到最优导致护壁能力较差,携渣能力不足。泥浆在循环过程中,在泥浆池内沉淀时间短,不能有效降低泥浆含砂率。

4 工艺改进及控制

4.1 技术指标优化

4.1.1 泥浆类型比选

针对武汉区域的特殊淤泥地质,采用 3 种常见泥浆(膨润土泥浆、化学泥浆、黄黏土泥浆)进行试验,根据以往施工经验制定泥浆配制材料表如表 1 所示。

表 1 泥浆配制材料表

泥浆名称	每 m ³ 泥浆掺入量
膨润土泥浆	水: 1 m ³ 、膨润土: 80 kg、纯碱(Na ₂ CO ₃): 3 kg、羟甲基纤维素(CMC): 0.08 kg
化学泥浆	水: 1 m ³ 、化学泥浆: 0.5 kg
黄黏土泥浆	水: 1 m ³ 、黏土: 150 kg

入孔前的泥浆性能指标数据如下:

1) 膨润土: 泥浆密度为 1.13 g/cm³; 黏度为 26 s(采用马氏漏斗黏度计测量); 含砂量为 0.2%; 胶体率≥95%;

2) 化学泥浆: 泥浆密度为 1.05 g/cm³; 黏度 28 s; pH 值 8.0;

3) 黄黏土泥浆密度为 1.3 g/cm³。

经对 3 种泥浆条件下桩基成孔效果对比: 黄黏土泥浆护壁效果最差,较高的泥浆密度加剧了“活塞”效应,缩径和塌孔较易出现,成孔困难,沉渣形成较多;化学泥浆和膨润土泥浆均能起到护壁作用,能够成孔,但膨润土泥浆较化学泥浆成本低,对环境污染小,所以本项目选用钙基膨润土泥浆作为成孔泥浆。

4.1.2 泥浆配合比优化

为提高钻进效率,优化膨润土泥浆护壁效果,降低缩径和塌孔率,进行了 4 组配合比试验,泥浆配合比如表 2 所示,孔内泥浆相关参数见表 3。

表 2 泥浆配合比

序号	水/m ³	膨润土/kg	纯碱/kg	CMC/kg
第 1 组	1	80	3.0	0.08
第 2 组	1	90	3.5	0.10
第 3 组	1	95	3.8	0.15
第 4 组	1	100	4.0	0.18

表 3 孔内泥浆相关参数

序号	泥浆密度/(g·cm ⁻³)	含砂量/%	胶体率/%	黏度/s
第 1 组	1.10	4.2	90	19
第 2 组	1.13	4.4	91	20
第 3 组	1.16	4.5	93	21
第 4 组	1.17	4.5	97	26

经过试验,综合成孔效率和沉渣控制效果,第 3 组泥浆配合比作为该种地质下钻进泥浆最为合适。另外钻进时要持续关注泥浆池内及孔内泥浆性能参数变化,超过范围后及时调整。

4.1.3 孔内泥浆高程控制

钻进时,孔内泥浆液面高程控制对于护壁稳定性和预防塌孔至关重要,所以一方面钻进前要探明地下水位高程,使泥浆液面始终高于地下水位 1 m,并在护筒内侧做好高程标记;另一方面要设置专人看管泥浆液面高度变化,及时添补泥浆,保证泥浆高程的连续性,若遇孔内泥浆液面高度急速下降,应立即提出钻杆查明原因,做好防塌孔应对措施^[1]。

4.2 钻进操作改进

旋挖钻机在钻孔过程中应根据地质情况选用锥形钻头,控制进尺速度,防止卡钻或埋钻,严格控制钻头升降速度,减小钻斗升降对孔壁的扰动,避免造成塌孔事故。不同地层中钻进应符合下列规定:在硬塑层中钻进时应采用快转速钻进,以提高钻进效率,在砂层等松散易坍塌地层中钻进时宜采用慢转速慢钻进,并相应增加泥浆密度和黏度,在易缩径的地层中钻进时应适当增加扫孔次数,由硬地层钻至软塑层或砂层时,可适当减缓钻进速度,由软塑层钻至硬塑层稳定地层时,可适当加快钻进速度。钻机钻进时孔内水位应低于护筒顶 0.5 m 以上,防止钻杆下放时泥浆溢出孔外,钻进时注意观察孔内情况,及时向孔内补水或泥浆,保持水头高度和泥浆密度及黏度。

4.3 清孔工艺优化

本次施工中,采用 2 种清孔工艺,并对清孔后的孔底沉渣和清孔时间做出了相应的对比。

4.3.1 原清孔工艺

泵吸反循环工艺利用潜水电泵将孔底泥浆抽吸至地面泥浆沉淀池沉淀,再将沉淀后的泥浆经由返浆池注入孔内的循环方式。清孔时将潜水电泵利用接头与灌注导管相接,然后将电泵与导管一起置于孔内泥浆液面以下,导管底端需伸至沉

渣面附近,启动电泵将泥浆从孔底通过导管吸至地面注入沉淀池内沉淀,沉淀后的泥浆再经由返浆池流入孔内,泥浆利用潜水电泵泵吸的方式即可将孔底沉渣带出至沉淀池。

原工艺清渣效果较差,可将沉淀的细粒黏泥吸出,无法将沉积形成硬底后的细砂和大块淤泥彻底吸出,电泵叶轮长时间使用磨损后吸力减小,清渣效果逐渐降低。清孔时间长达4 h,长时间清孔容易破坏护壁导致塌孔。原清孔工艺无法在本项目中适用。

4.3.2 新清孔工艺

气举反循环工艺受场地限制,现场无法布置大面积沉淀池及返浆池,为降低循环泥浆中的含砂率,现场增加200型泥沙分离器1台,接在返浆管线出口和泥浆池之间,利用泥沙分离器的虑砂功能,完成泥浆中细砂的过滤。同时选用15 m³空压机并用灌注导管代替清孔镀锌管,不仅能够快速清孔,同步降低孔内泥浆含砂率,也省去了拆卸原镀锌管线的时间,大大压缩了二次清孔的总时间。

新工艺清孔效果较好,可有效将桩底细粒黏泥、大块淤泥、细砂吸至镀锌管内,并由气举上涌至沉淀池内。清孔时间可缩短至2 h。新工艺清渣效果较好,但因泥浆循环较快,泥浆里的泥沙无法有效沉淀,孔内泥浆含砂率一直较高,孔底沉渣仍持续形成,需反复清孔。所以新工艺无法彻底解决二次清孔时间长的問題。

根据多次试验,当孔内泥浆指标达到1.05~1.15 g/cm³;黏度17~20 s;含砂率<2%。可停止二次清孔,进行混凝土灌注。

4.4 工序时间压缩

1) 钢筋笼长度普遍在60 m左右(5~6节),声测管提前安装到钢筋笼内,焊接由单人焊接调整为双人对称焊接,由手工电弧焊调整为CO₂保护焊,钢筋笼接头焊接效率提高2倍以上,较大地压缩下放钢筋笼工序时间。

2) 验收报检由原准备工作做好后再报检,调整为加强质量管控,保证自检质量,在自检的同时通知监理报检,加快整改速度,压缩报检验收环节时间和等待时间,使各工序衔接紧凑。

5 施工工艺应用

5.1 施工准备

施工前在提前测放的桩位中心埋设钢护筒,

泥浆池、沉淀池设置到位,调制泥浆至使用状态。

5.2 钻机就位

桩基周围换填压实,钻机底部铺设钢板,钻机就位开钻,复核护筒坐标和高程。

5.3 钻进及泥浆控制

钻机正常钻进,钻头选用锥形钻头,可有效减少“活塞”效应且方便钻头内淤泥倒出。钻进同时,关注泥浆液面高度变化和泥浆指标变化,及时补充泥浆或调整泥浆参数^[2]。钻头磨损时及时修补,及时清理粘黏淤泥,保证钻斗和孔壁保持一定间隙。严格控制钻杆垂直度,关注吨位数据变化,防止卡钻或埋钻。严格控制钻头升降速度,减小钻斗升降对孔壁的扰动,避免造成塌孔。

5.4 成孔及报检

成孔后采用超声波孔壁测试仪(直径2.0 m及以上钻孔桩)或检孔器(探笼,直径2.0 m以下钻孔桩)检孔。探笼由钢筋加工车间统一制作,检孔时采用汽车吊下放至孔内;超声波孔壁测试仪主要包含主机和绞车2部分,利用绞车将探头放桩孔内,依靠自重保持测试探头处于铅垂位置。

5.5 钢筋笼下放

钢筋笼采用分节下放对接安装,钢筋笼竖立后,进行钢筋笼下放,钢筋笼顺桩孔自然下放,下放前对孔口定位架标高与水平位置进行测量定位,确保钢筋笼下放中心偏差在±5 cm内。根据护筒顶标高及钢筋笼设计标高计算吊筋长度,将吊筋与钢筋笼主筋进行焊接,单面焊长度不小于10d,双面焊不小于5d,d为钢筋直径。

为了检测成桩质量,在钢筋笼制作时,根据设计和检测要求设置超声波检测管。在接长声测管时应将接头处管内毛刺处理干净以免影响测桩。接长声测管可将套管与声测管焊接,也可将套管及声测管车丝连接,但必须保证连接紧密、牢固,防止水泥浆被压入管内。每节钢筋笼下放到位后,将声测管内灌满清水,等待5 min检查水面是否下降,水面如无下降说明声测管连接完好,才能接长钢筋笼。声测管管口用薄钢板点焊,以免灌注水下混凝土时掉入杂物,影响桩基检测。声测管要与钢筋笼牢靠固定,防止在钢筋笼下放及混凝土灌注时偏位。

5.6 导管下放

导管水密试验合格后进行编号,并用油漆在导管两侧做好刻度标记,做深度标尺,同时根据

起吊高度进行分段,利用汽车吊机吊放,依次入孔,2段接头连接必须牢固,并确保水密。导管位置居于孔中,轴线顺直,稳步沉放,并进行探底,保证导管底口距孔底0.3~0.4 m。导管下放完毕后,应上下起落测试,确保操作机构灵活,导管入孔后做好测量标记并测量孔深。

5.7 二次清孔

安装泥浆循环系统,采用气举反循环工艺进行二次清孔。在清孔过程中需及时向孔内补浆,此时应保证孔内泥浆高于地下水位2 m以上。二次清孔后用测锤测量孔深,计算沉渣厚度,孔底沉渣厚度符合设计要求^[9]。

5.8 混凝土灌注

混凝土灌注前,再次测量沉渣厚度,符合要求后快速进行混凝土灌注。首灌混凝土方量控制准确,拔除料斗堵板后保证混凝土连续灌注,确保封底混凝土埋深至导管底口1 m以上。灌注过程不断测量混凝土面标高,对比理论混凝土面高程,并计算导管埋深,埋深控制在2~6 m,埋深过厚时要及时拆除导管。混凝土超灌至设计桩顶0.5~1 m,拔出最后一节导管时应缓慢提出,以免桩内夹入泥芯或形成空洞。

5.9 成桩质量检验

钻孔灌注桩成桩检测采用超声脉冲检测法,超声脉冲检测法是检测混凝土灌注桩连续性、完整性、均匀性,以及混凝土强度等级的有效方法。能准确地检测出桩内混凝土中因灌注质量问题造成的夹层、断桩、孔洞、蜂窝、离析等内部缺陷,并能测出混凝土灌注均匀性及强度等级等性能指标。声测管使用完后应进行密实压浆处理。

该方法在检测时需灌注桩内预埋声测管作为检测通道,再将发射探头和接收探头置于声测管中,管内充满清水作为耦合剂,然后通过脉冲

信号发生器发生一系列周期性电脉冲,由发射探头将其转换成为超声脉冲,穿过待测桩体的混凝土,由接收探头接收,再转换回电信号。仪器中测量系统测出超声脉冲穿过混凝土所需的时间、接收波幅值、接收脉冲主频率,接收波波形及频谱等参数,再通过数据处理系统,对接收信号的各种参数进行综合判断和分析,确定出混凝土中各种内部缺陷的性质、大小和位置等,并给出混凝土总体均匀性和强度等级评价指标。

6 应用效果

淤泥地质中灌注桩旋挖成孔工艺应用于合肥至武汉高铁桩基施工项目,解决了项目前期出现的缩径、塌孔、清孔难等问题,提高了施工效率。工艺应用后,现施工桩基项目已成孔灌注371根桩基,已完成检测286根,全部为I类桩,保证了施工质量。

7 结语

在新建合肥至武汉高速铁路湖北段站前工程HWZQ-4标段的桩基施工中,基于该项目地质较为复杂、地质情况差,前期施工出现塌孔严重、成桩混凝土超耗严重等问题,对现场的钻进以及灌注工艺、泥浆性能指标进行改进,以解决问题。淤泥地质中灌注桩旋挖成孔工艺在项目上的成功应用为旋挖钻在淤泥地质条件下的施工积累了经验,为后续类似地质旋挖成孔施工提供了借鉴依据。

参考文献:

- [1] 王乐文. 浅谈桥梁施工中桩基础施工技术要点[J]. 工程设计与设计, 2024(14):200-202.
- [2] 李开鹏. 桥梁钻孔灌注桩基础质量控制技术要点[J]. 科学技术创新, 2024(17):185-188.
- [3] 罗谦. 公路桥梁桩基础施工工艺和质量控制措施[J]. 交通科技与管理, 2024, 5(15):65-67.