

1.3 工程水文条件

场地地下水混合水位埋深 0.00m~2.10m，平均标高为 0.47~4.21m，场地地下水主要赋存于冲填土层、砾砂层及花岗岩风化孔隙、裂隙中。冲填土层分布较广，富水性中等，为孔隙潜水。场地分布砾砂层，且厚度较大，为场地主要含水层，上部粉质黏土及淤泥质土为相对隔水层，为承压水。此外，素填土层赋存上层滞水及孔隙潜水不可忽视。场地地下水总的地下迳流方向为从南向北，场地内地下水水质以及土质对混凝土结构及钢筋混凝土结构中的钢筋具微腐蚀性。

2 施工工艺技术调整

2.1 护筒选型优化调整

针对泥浆护壁成孔灌注桩，设计文件中要求护筒采用孔口护筒，且护筒厚度可用 4~8mm 厚钢板制成，钻孔桩其内径应大于钻头直径 100mm（冲孔桩其内径应大于钻头直径 200mm），上部宜开设 1~2 个溢浆孔。埋设深度要求在黏性土中不宜小于 1.0m，砂土中不宜小于 1.5m。护筒下端外侧应采用粘土填实；其高度尚应满足孔内泥浆面高度的要求。

项目遵循设计文件，并结合桩基专业分包队伍以往的施工经验，分别进场 6m、9m、12m 长的护筒在原场地地表对试桩 GS264#、GS380#、GS479#、GS254#、GS521#、GS487# 六根桩分别进行护筒埋设与钻孔试验。护筒壁厚考虑地质影响最终确定选用 14mm 厚钢板，钻孔桩其内径应大于钻头直径 100mm。同时进场两台压板机。

此次护筒埋设试验主要判别“护筒埋设时长与难易程度”、“钻头旋进时的土层状态”两个参数。见表 1。

表 1 不同长度护筒在试桩中的对比试验表

桩号	护筒长度	护筒埋设时长与难易程度	钻头旋进时的土层状态
GS264#	6m	约 2h，压板机配合施工成功埋设，复核埋设偏差满足规范要求	有塌孔情况，约护筒下 10.5m 位置
GS479#			有塌孔情况，约护筒下 8m 位置
GS380#	9m	约 2.5h，压板机配合施工成功埋设，复核埋设偏差满足规范要求	未塌孔
GS254#			有塌孔情况，约护筒下 12.7m 位置

桩号	护筒长度	护筒埋设时长与难易程度	钻头旋进时的土层状态
GS521#	12m	约 3h，压板机配合施工成功埋设，复核埋设偏差满足规范要求	未塌孔
GS487#			未塌孔

针对本项目淤泥层较厚的复杂地质，应用长度 9m 和 12m 长护筒虽然埋设时间较长，且施工成本相对较高。但在埋设成功的前提下能够极大减少旋挖钻机钻头旋进过程中侧壁土层的塌陷，有效减少清孔时长，控制混凝土灌注的超方量。综合对比之下优大于劣。见表 2。

表 2 价格对比表

序号	内容	单价	单桩平均工期	计算总价
1	钢护筒 9m	200~300 元/吨，共 4.97t	2.5d	1491 元/根
2	钢护筒 12m	200~300 元/吨，共 6.62t	2.5d	1986 元/根
3	打板机	1667 元/天	2.5d	4167.5 元
4	C40P8 砼	535 元/m ³	2.5d	535 元/m ³

注：现场高峰时期旋挖钻机 14 台，每天成桩可达 11 根，2.5 天成桩预估计算可以完成 25 根。打板机为月租，平摊价格为 4167.5×2/25 元/根=333.4 元/根。C40P8 砼当地单价为 535 元/m³，在充盈系数 1.2（业主合同约定可认的最大充盈系数为 1.2）以外超方 5 方以上便导致砼总价大于护筒措施费总价。



图 2 长护筒进场与埋设图

2.2 泥浆参数调整

设计文件中对混凝土灌注桩清孔过程中的泥浆参数也有详细设定要求：灌注混凝土前，孔底 500mm 以内的泥浆相对

密度应小于 1.25，含砂率不得大于 8%，黏度不得大于 28s。

项目在施工近百条混凝土灌注桩并分别记录“钻孔”、“清孔”及“浇筑前”各施工工序泥浆参数之后，得到了一组相对稳定的参数标准。具体如下见表 3。

表 3 护壁泥浆参数表

序号	工序	泥浆比重	泥浆含砂率	泥浆黏度
1	钻孔	1.35~1.45	>8%	>28s
2	清孔	1.25~1.3	≤8%	≤28s
3	灌注前	1.2~1.25	≤8%	18s~24s

这里的参数重点是泥浆比重，尤其是“二次清孔”及混凝土“灌注前”的泥浆比重不得小于 1.2，否则极大概率会出现侧壁土层塌孔情况。



图 3 浇筑前泥浆参数测定图

2.3 新型声测管研发与应用

淤泥地质中，传统钳压式或螺纹式声测管连接预埋易出现接口不严、焊接损伤、吊装弯折漏浆等通病，导致混凝土渗漏堵塞管道，使后续检测受阻。一旦堵塞需全桩长抽芯，成本高、耗时长，严重影响工期。

为此，项目研发并应用了“新型承插+螺纹组合式声波检测管”。其采用“外管套中管，中管插内管”的承插嵌套结构，分步连接有效防止变形破坏，兼具钳压式便捷与螺纹式稳固密封。同时，密封材料由普通黄胶布升级为固定胶套或自粘丁基胶带，显著提升防水性能，弥补原材料缺陷。见图 5。



图 4 新型声波检测管研发与应用图

2.4 清孔方式的优劣比选

混凝土灌注桩二次清孔可选正循环、泵吸反循环或气举反循环等工艺，需依据地质条件、孔径、孔深、工期及质量要求选定设备。

正循环清孔为持续注入泥浆使沉渣悬浮排出。虽能保持桩端中心无沉渣，但易将沉渣排挤至周边堆积，且注浆压力可能扩大桩端，增加混凝土用量。泵吸反循环清孔则通过泵吸或抽吸高效排渣，孔壁冲刷小（每次泵吸≤3 分钟）。其排渣能力强、效率高、质量好，能彻底清理桩端周边，尤其适用于深长大直径桩^[3]。

项目经正循环与泵吸反循环对比试验，最终选用泵吸反循环工艺。见表 4。

表 4 不同清孔工艺工效对比

序号	清孔工艺	桩径	工效	清孔验收时孔底质量	抽芯检测后探底结果
1	正循环清孔	1.0/1.2/1.4m	1.5h	桩端清孔干净，周边部分沉渣	中心沉渣厚度<周边沉渣厚度
2		1.6/1.8m	2.5h		
3	泵吸反循环清孔	1.0/1.2/1.4m	0.45h	桩端及周边清孔干净	整体沉渣厚度均匀
4		1.6/1.8m	1.5h		

注：二次清孔实际施工工效会受一次清孔质量及实际成桩桩长影响，单纯的工效对比不一定严格准确。但根据项目成桩原始记录判别整体工效，泵吸反循环清孔所需时间明显比正循环清孔所需时间要少 1~1.5h。

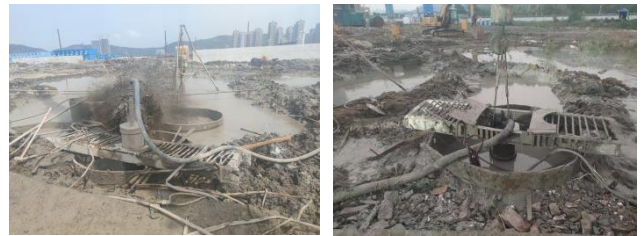


图 5 现场正、反循环清孔图

2.5 浇筑导管与吊料斗选型优化调整

针对浇筑导管设计图纸要求导管壁厚不宜小于 3mm，直径亦为 200~250mm，底管长度不宜小于 4m，接头宜采用双螺纹方扣快速接头；导管使用前应试拼装、试压，试水压力可取为 0.6~1.0MPa；每次灌注后应对导管内外进行清洗。

项目综合设计文件并结合专业分包施工经验，选用直径 300mm、壁厚 3mm 的导管（3m/节，底管 4m）。增大管径旨在避免罐车残留凝结砼块堵塞导管，防止断桩等质量问题。此外，项目深化了砼吊料斗设计（最小方量≥2.5m³），储料斗需备足混凝土，以冲击孔底沉渣并促其排出，保障首灌量^[3]。其次设置防堵管措施，在料斗靠近罐车卸料口的半圆面焊接 C10@70mm 的钢筋网片，避免堵管。见图 6。

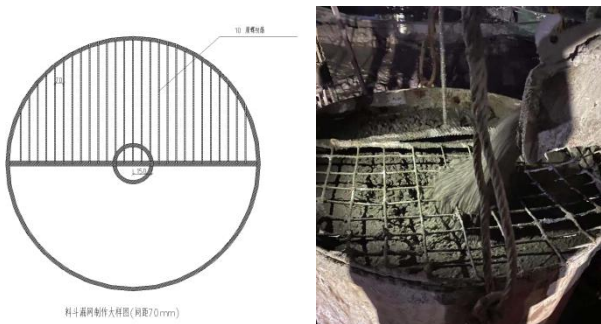


图 6 导管与吊料斗现场应用图

3 施工钻孔机械的合理搭配与选择

从前文描述概况来看，本工程钻孔灌注桩施工主要面临三大难题：①淤泥质土层厚度大，地质软弱不均，成孔难度大；②工期紧凑，施工效率要求高；③设计入岩要求高，微风化岩入岩层不少于 2m 对钻头、钻杆的磨损较大。根据以上三点，本工程的成孔机械选择优先考虑成孔速度，重点考虑机械设备的维护与轮替使用，全力保障开孔成功率^[1]。

根据专业分包进场施工机械，项目在试桩阶段进行对比试验，从打土层工效、成孔质量、入岩施工工效、整体工期以及价格对比五个方面详细分析，列举如下，见表 5。

表 5 施工作业机械对比分析表

桩号	桩径	施工机械选择	孔深	打土层工效	入岩工效	整体工期	价格
GS 26 4#	16 00	460 旋挖机（螺旋钻头）	50.6m	10m/h	中风化 0.5m/h；微风化 0.3m/h	57h	30 万元

GS 38 0#	16 00	460 旋挖机（先螺旋钻头后换筒钻）	50.2m	10m/h	岩层可断则 0.8m/h，未断则需换回螺旋钻，同上述工效	42h	30 万元
GS 47 9#	14 00	1050/360 旋挖机（螺旋钻头）	46.12m	10m/h	中风化 0.6m/h；微风化 0.4m/h	44h	15/18 万元
GS 25 4#	14 00	1050/360 旋挖机（先螺旋钻头后换筒钻）	56.56m	10m/h	岩层可断则 0.8m/h，未断则需换回螺旋钻，同上述工效	59h	15/18 万元
GS 52 1#	14 00	360 旋挖机（螺旋钻头）+ 冲孔桩机	44.0m	10m/h	中风化 0.1m/h；微风化 0.05m/h	84h	15 万元 +2.3 万元
GS 48 7#	16 00	1050 旋挖机（螺旋钻头）+ 冲孔桩机	38.64m	10m/h	中风化 0.1m/h；微风化 0.05m/h	68h	15 万元 +2.3 万元

注：不同位置的岩层的坚硬程度会直接影响入岩工效，虽然勘察单位在岩性的评判上统一定性为中风化或微风化，但实际现场施工时越靠近基坑南侧的岩层越坚硬。尤其是排洪渠位置的岩层，直接将入岩工效减半。但总体上，冲孔桩机锤岩用时要远大于旋挖钻机钻岩用时的事实是不变的。

项目结合试桩阶段分析记录的施工作业机械对比分析表，

对于设计要求入岩 1.6m 以上的中/微风化岩层,采用“1 台旋挖钻机+2 台冲孔桩机”双搭配的施工措施。即旋挖钻机开孔快速钻至岩层,随后调入 1 台冲孔桩机接力锤岩。旋挖钻机快速移位至下一桩位开孔,至岩层后再调入另一台冲孔桩机接力锤岩。一机两开孔两接力。

而对于入岩深度小于 1.6m 的中/微风化岩,或者小桩径桩(桩径 1.0~1.4m)的桩端嵌岩,直接采用旋挖钻机更换筒钻进行磨岩施工。这样即减少了旋挖钻机钻头与钻杆的故障率,又能最大程度发挥旋挖钻机、冲孔桩机的施工效率。

在深厚淤泥中施工时,就施工质量而言,旋挖钻机在长护筒跟进的情况下,施工质量较为理想,冲孔桩机对嵌岩层的扩

孔系数较大(1.2~1.3),但对桩端嵌岩质量反而有利。

4 结论

本文结合实际工程的复杂地质情况,针对后填海区深淤泥层灌注桩施工过程中易出现的桩身塌孔、孔底清孔质量差、声测管埋设困难、施工工效低等问题因地制宜优化了施工工艺技术。重点从护筒选型、泥浆参数调整、新型声测管研发应用、泵吸反循环清孔选用、导管及吊料斗优化、施工机械合理搭配等六个方面,完美完成了大直径、深桩长的混凝土灌注桩施工。经检测,本项目桩身质量满足设计要求,全部混凝土灌注桩 100%合格,且施工工效合理达到了业主的工期要求。该项施工经验可为工程技术人员处理类似工程提供参数。

参考文献:

- [1] 赖永青.深厚淤泥质土钻孔灌注桩成孔工艺比选[B].广东:英德市地方公路管理站,2017.
- [2] 江波,张明亮,王大纲,寻奥林.复杂地质条件下大直径灌注桩施工技术[B].湖南省第六工程有限公司,2020.
- [3] 黄桂祥.浅谈深长大直径灌注桩反循环施工的质量控制[B].厦门:中国建筑第七工程局有限公司,2023.