

素混凝土桩振动沉管法施工技术探讨

付俊生, 闫忠伟

(中交一航局第三工程有限公司)

摘 要: 通过素混凝土桩振动沉管法首件施工试验, 进行技术探索, 总结素混凝土桩施工所需人员、机械、材料等基础数据、质量控制方法, 为后续大范围施工的开展提供参照和指导; 根据沉管在不同地质条件下, 进尺速率和电流的对应关系, 确定素混凝土桩达到设计持力层, 按片区确定施工桩长, 再对成桩进行实体检测(桩身小应变、单桩承载力、取芯等), 首件试验所使用的施工工艺及工法, 质量控制措施等满足素混凝土桩施工要求, 能够用于指导后续素混凝土桩大规模施工; 为今后类似工程或该工法本身的发展提供借鉴、依据和指导。

关键词: 素混凝土桩; 振动沉管; 施工技术; 探讨

为了全面展开路基素混凝土桩施工, 保证路基施工质量, 根据设计图纸及《素混凝土桩施工方案》, 在 2019 年 12 月 26 日—2020 年 1 月 6 日在桥头西互通立交 I 匝 K0+170—K0+290 段进行了素混凝土桩试桩施工。此段桩长较长、面积较大、地质较为复杂, 具有代表性, 成功完成了该分项工程试桩工作, 获得了宝贵的试验数据, 为大面积的素混凝土桩施工提供了依据。

1 工程概况

路基工程全长 4.7 km(含匝道 2.34 km)。针对本合同段桥头西互通立交 I 匝道 IK0+170—IK0+290 路基段及 K12+540—K12+590 路基段存在淤泥质土的地段, 由于填土高度 6~10 m, 设计采用素混凝土桩处理, 图纸设计工程量为 45 309 m。素混凝土桩平面按梅花形布置, 直径为 40 cm, 桩间距 1.7 m, 桩身混凝土为 C25。托板之间铺设

30 cm 砂垫层, 顶面设置 30 cm 厚碎石层垫层, 碎石采用级配碎石, 最大粒径应小于 40 mm。

1.1 设计形式及技术要求

1) 桥头西互通立交 I 匝道 IK0+170—IK0+290

素混凝土桩直径 40 cm, 间距 1.7 m, 采用梅花形布置, 处理长度 120 m, 平均宽度 36 m, 平均桩长 15 m。要求单桩容许承载力大于 400 kN, 复合地基承载力大于 165 kPa。

2) 主线 K12+540—K12+590

素混凝土桩直径 40 cm, 间距 1.7 m, 采用梅花形布置, 处理长度 50 m, 平均宽度 64.6 m, 平均桩长 15 m。要求单桩容许承载力大于 450 kN, 复合地基承载力大于 185 kPa。

1.2 桩位布置图

K12+540—K12+590 桩位布置见图 1。

IK0+170—IK0+290 桩位布置见图 2。

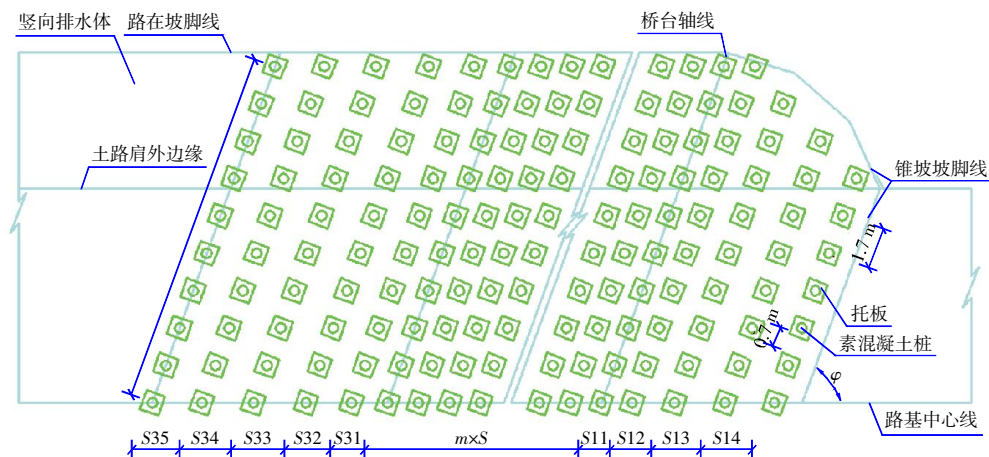


图 1 K12+540—K12+590 桩位布置示意图

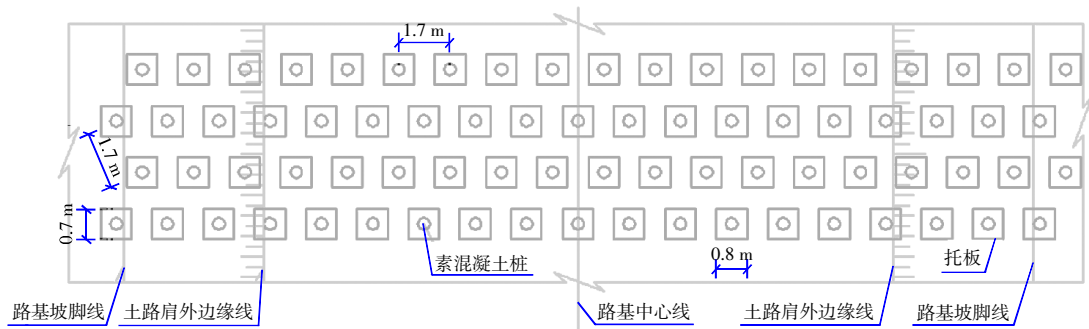


图2 IK0+170—IK0+290 桩位布置示意图

根据图纸所示,对素混凝土桩平面布置进行统一编号。素混凝土桩选择 IK0+170—IK0+290 段,编号为:16-3、16-4、16-5、95-12、97-12、97-14、98-6、99-13、99-15、100-6、101-12、102-10、104-10、105-12,共 14 根桩进行试桩。

1.3 地质条件

IK0+170—IK0+290 段场平标高 8.0 m,地质依次为人工填土层、淤泥质土、粉质黏土、残积土及风化岩等。

1) 人工填土层:包括杂填土①₁、素填土①₂层,线路揭露的人工填土层,一般未经处理,其密实度及承载力均较差,厚度 1.6~3.2 m。

2) 淤泥质土③₄及淤泥③₅层:该层含水量大、压缩性高、强度低,呈典型的软土特征,土的功能性差。未经处理不宜直接作为道路路基持力层,在上覆土层较薄地段不得作为道路路基下卧层,厚度 3~7.5 m。

3) 冲洪积成因粉质黏土③₁层、细砂③₆、中砂③₇、粗砂③₈层:承载力较好,工程力学性质较好,可作为路基持力层使用,厚度 2~3.4 m。

4) 残积土及风化岩:包括砂质粘性土及各种风化程度的泥质粉砂岩、细砂岩及混合花岗岩,其分布稳定,物理力学性质较好,承载力高,路基开挖后可直接作为路基持力层使用。该层作为素混凝土桩持力层,要求桩底进入持力层不小于 2 m,如桩端持力层为强风化层,则进入持力层不小于 0.5 m。

2 施工组织

2.1 人员配置

现场主要施工人员配备有:现场负责人 1 人,班组长 1 人,现场施工员 1 人,测量员 1 人,专职安全员 1 人,机械操作手 2 人,普通工人 2 人。

2.2 机械设备

振动沉管钻机(280 kW)1 台,挖掘机(PC200)1 台,发电机组(300 kW)1 台,混凝土罐车 2 台, GPS(H86 双星)1 台。

2.3 材料准备

混凝土材料由拌和站供应,采用 C25 混凝土,原材料经过检验合格。

3 施工方法及过程

3.1 施工工艺流程

施工工艺流程图见图 3。

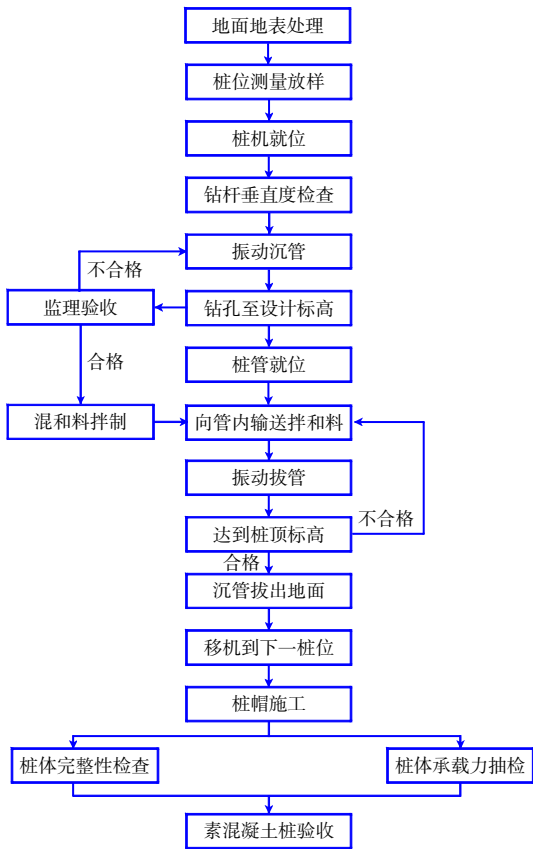


图3 施工工艺流程图

3.2 主要施工工艺和施工顺序

3.2.1 施工准备

- 1) 设备组装要严格按程序组装。
- 2) 正式施工前对整套施工设备进行检查, 保证设备状态良好, 禁止带故障设备施工, 现场做好电缆布设及架空工作。
- 3) 对施工人员进行技术交底并记录。

3.2.2 定位放线

采用全站仪根据桩位平面布置图放出试桩桩位, 用钢钎、白灰明示。后续桩位间隔 5 排放出控制桩, 剩余的桩位采用钢尺量距定位, 间距为 1.7 m 呈(三角形)梅花形布设。同排间距 1.7 m, 桩位放样允许误差 20 mm。

打桩顺序: 由内到外, 采用隔桩跳打, 以防止缩孔, 影响成孔质量。

3.2.3 振动沉管

钻机就位后, 采用在钻架上挂垂球的方法测量钻杆的垂直度使钻杆垂直对准桩位中心, 确保素混凝土桩垂直度的允许偏差不大于 1%。为准确控制钻孔深度, 在桩架上做出控制深度的标尺, 以便在施工中观测、记录。在钻塔前接上一个交流电流表, 以显示不同地质条件的电流变化。根据地质资料及设计桩长, 当电流达到规定值且不再下沉, 桩长即满足设计要求。桩基深度标尺见图 4。



图 4 桩基标尺

2019 年 12 月 26 日—2020 年 1 月 6 日进行试桩, 过程中做好记录。观察激振电流变化情况, 并对土层变化予以备注。沉管时为了适应不同土质条件, 采用加压法来调整进尺深度。桩尖压力改变利用卷扬机滑动钢丝绳把桩架的部分重量传到钢管上, 并根据钢管沉入速度, 随时调整离合器, 防止桩架抬高发生事故。

沉管过程中, 桩机操作人员注意电流值的变化, 以确定设计桩底标高穿透覆盖层, 电流达到规定值且不再下沉, 方可进行下步工序施工。

3.2.4 混凝土灌注

采用提斗法将混凝土灌入钻杆喂料口, 每个桩在吊装时记录吊罐次数, 以此来验证桩身混凝土的充盈系数。当管体内充满混合料后原地留振 5~10 s, 然后边振动边拔管, 不得先拔管后上料。提钻速率控制以保证钻头始终埋在桩混凝土面以下, 以避免进水、夹泥等质量缺陷的发生。拔管速度控制在 1.2~1.5 m/min, 沉管、拔管速度应匀速控制, 成桩过程宜连续进行, 不得反插, 直至桩体混凝土高出桩顶设计标高 30 cm。灌注混凝土见图 5。



图 5 吊装灌注混凝土

3.2.5 混凝土

采用场拌混凝土, 混凝土标号 C25。

根据广东省气候条件, 坍落度控制在 180~220 mm 之间, 允许偏差为 ± 20 mm。搅拌时间不得少于 120 s, 使用混凝土搅拌运输车运输。每台班或每日留取试块 3 组, 其规格为 150 mm×150 mm×150 mm, 标准养护检测 28 d。

3.3 自检情况

根据质量评定标准及图纸要求, 素混凝土桩检测要求见表 1。

表 1 刚性桩实体检测项目

项次	规定值或允许偏差	检测数据	检测结果
混凝土强度	C25	1704、34.6、32.0、30.9、1705、34.5、30.4、31.1	合格
桩距/mm	± 100	1704、1700、1695、1705、1712、1712	合格
桩径/mm	不小于设计值	420、430、420	合格
桩长/m	不小于设计值	13.5、12.0、13.0	合格
单桩承载力/kN	满足设计要求	400	合格
低应变检测	满足设计要求	I、II 类桩	合格
抽芯	满足设计要求	芯样完整	合格

1) 混凝土强度经标准养护, 28 d 强度大于设计要求。

2) 采用 GPS 检测桩位, 偏位 2 cm 以内, 在允许范围。桩距用尺量, 误差在±100 mm 以内, 符合规范要求。

3) 现场桩长施工时用尺量, 长度符合设计要求、桩径 42~43 cm 满足规范要求。

4) 2020 年 3 月 15 日经小应变自检检测 10 根, I 类桩 9 根, 占总桩数 90%; II 类桩 1 根, 占总桩数10%。桩基检测相关数据见表 2。

表 2 桩基检测结果

序号	桩号	桩长/m	桩径/m	波速/(km·s ⁻¹)	桩身结构完整性描述	类别
1	98-6	13.50	φ400	3.50	桩身完整	I 类
2	100-6	12.00	φ400	3.50	桩身完整	I 类
3	104-10	12.00	φ400	3.50	桩身完整	I 类
4	105-12	12.00	φ400	3.50	桩身完整	I 类
5	102-10	12.00	φ400	3.50	桩身完整	I 类
6	101-12	12.50	φ400	3.50	桩身完整	I 类
7	99-13	13.50	φ400	3.50	桩身完整	I 类
8	99-15	12.00	φ400	3.50	在 1.3 m 处, 存在轻微缺陷	II 类
9	97-12	13.50	φ400	3.50	桩身完整	I 类
10	97-14	12.50	φ400	3.50	桩身完整	I 类

5) 2020 年 4 月 13 日—2020 年 4 月 16 日经单桩承载力自检 2 根, 均合格。

单桩承载力检测结果见表 3。

6) 2020 年 4 月 20 日抽芯检测 3 根桩, 桩号分别为 16-3、16-4、16-5, 检测均合格。

表 3 单桩承载力检测结果

序号	试验桩号	桩径/mm	桩长/mm	设计单桩承载力特征值/kN	单桩极限承载力/kN	最大沉降量/mm	残余沉降量/mm	承载力特征值/kN
1	102-10	400	12.0	≥400	800	34.76	27.03	400
2	95-12	400	13.0	≥400	800	34.76	27.03	400

3.4 质量常见问题及保证措施

应注意的质量问题有: 缩径和断桩; 桩体强度不均匀; 桩身掺土; 桩头断裂。

施工质量保证措施为:

- 1) 控制好提管速度, 混凝土灌注速度相匹配;
- 2) 原材料应符合设计要求, 均匀控制拔管速度;
- 3) 控制好成桩标高;
- 4) 质量记录要求素混凝土桩施工记录表, 每根一记, 当天完成签认。

4 试桩成果

素混凝土桩采用振动沉管法施工, 对地基有挤密作用。振动沉管设备采用 90Y 管式桩架, 主要技术参数为沉管直径 400 mm, 沉管深度 32 m, 相配锤功率 90 kW, 总功率 163.5 kW, 设备总重 38 t。机械性能满足要求。

为了具体确定施工桩长, 验证图纸设计、地质资料的准确性, 确定进入下卧层及终孔的标准, 为后续施工确定标准和依据, 根据地质纵断面图桩号段落进行分区之字形布点, 在每区内布 3 个试桩点。试桩施工过程有管理处、设计院、总监办和施工单位四方人员现场见证。现场试桩记录见表 4。

表 4 试桩现场记录表

分区	桩号 编位	施工 桩长/m	平均 桩长/m	开始 时间	结束 时间	钻孔记录					
						孔深/m	电流/A	孔深/m	电流/A	孔深/m	电流/A
一区	A55-3	9.0	9.3	9:41	10:00	1~7	20	7~9	120		
	A55-5	9.3		10:10	10:25	1~7	20	7~9.3	120		
	A55-7	9.6		10:30	10:45	1~7	20	7~9.6	120		
二区	A66-9	11.3	11.1	15:12	15:30	1~7	20	7~11	70~90	11~11.3	120
	A68-7	11		15:40	15:59	1~7	20	7~10	70~90	10~11	120
	A69-6	11		9:20	9:40	1~7	20	7~10	70~90	10~11	120
三区	A90-6	14	13.3	15:00	15:20	1~7	20	7~11	70~90	11~14	120
	A90-8	12		15:25	15:40	1~7	20	7~11	70~90	11~12	120
	A90-10	14		15:45	16:00	1~7	20	7~11	70~90	11~14	120

根据试桩记录, 该段素混凝土桩总平均深度 11.2 m。工程地质纵断面图及距离试桩最近的勘

探孔 QTAZK-1/QTAZK-2 位置, 图纸显示素混凝土桩设计地面线以下深度为 11.7 0~14.28 m, 所以

施工桩长及桩底标高和设计基本吻合。

根据现场试桩, 钻机激振力 440 kN+钻机自重 380 kN 的一半达 700 kN 以上, 在锤振不下钻机前腿微抬的工况下能满足地基承载力的要求(已通过单桩承载试验)。

根据试桩记录, 钻孔深度在 12 m, 根据工程地质断面图, 距离试桩最近的 QTAZK-2 勘探孔位置, 图纸显示素混凝土桩设计地面线深度为 12 m, 所以施工深度和设计深度基本吻合; 考虑到图纸素混凝土桩设计底面线深度不在一个水平面和持力层岩面的复杂性, 确定素混凝土桩终孔深度, 主要依据钻机在施工过程中的电流进行控制, 根据现场试桩电流变化, 电流达到 70 A 以上时, 结合附近地勘标高判定, 钢管已穿过淤泥层并已进入硬土层或持力层, 电流达到 120 A 时已不再进尺, 设备开始振动反弹, 结合附近地勘标高判定, 已进入稳定持力层; 为判断设备在极限负荷下能否再进尺, 设备继续加载, 电流达到 150 A, 此时设备振动剧烈, 已达到极限负荷, 仍无法进尺。因此取电流达到 120 A, 并停止进尺时桩长做为终孔桩长, 同时认定已达到设计稳定持力层, 满足设计要求并作为以后素混凝土桩施工终孔的标准。

分区原则为同一区域内, 根据地勘资料, 结合设备电流最大值, 桩长变化控制在化范围内, 超过 1 m 时现场勘察分析原因以确定下一分区控制桩长。

经过四方对试桩记录成果分析, 同意施工单位按照电流值 120A 及桩长进行双控, 作为施工终孔的标准, 指导后续素混凝土桩施工。

根据试桩结果确定分区如下, 素混凝土桩 IK0+120—IK0+290 共分 3 个区域, 一区(IK0+120—IK0+140 和 IK0+200—IK0+220), 二区(IK0+220—IK0+260), 三区(IK0+140—IK0+200 和 IK0+260—IK0+290)。一区素混凝土桩共计 520 根, 桩长共计 4 836 m, 二区素混凝土桩共计 416 根, 桩长共计 4 617.6 m。三区素混凝土桩共计 793 根, 桩长共计 10 546.9 m。设计总桩长 25 935 m, 预计总桩长 20 000.5 m, 未超出设计总桩长。见表 5。

5 施工中存在的问题及解决措施

5.1 施工过程异常问题处理方法

试桩施工过程中, 严格执行上述技术、管理

表 5 试桩分区统计表

序号	区域	根数	设计平均桩长/m	试桩平均桩长/m	试桩桩长总计/m
1	一	520	15	9.3	4 836
2	二	416	15	11.1	4 617.6
3	三	793	15	13.3	10 546.9
合计		1 729			20 000.5

措施, 由于地质变化设计桩长不能一次确定, 部分桩长较短但电流值及承载力达到要求, 报请设计同意终孔; 部分地段实际桩长已经超过设计桩长, 但电流值及承载力达不到要求, 要求继续加长钻杆, 达到持力层为止。

5.2 存在的问题及解决措施

1) 加强机械保养, 登高需配置防坠器, 安全准备不充分。

解决措施: 加强保养, 减少故障率, 加强安全管控, 提高安全意识。

2) 经小应变检验, 部分素混凝土桩桩顶以下 1 m 左右位置存在轻微缺陷, 经分析由于桩顶混凝土压力较小, 振捣不足导致。

解决措施: 在后续施工中应严格控制拔管速度, 到桩顶以下 3 m 区域, 拔管速度放慢至 0.5 m/min, 加强振捣, 以提高素混凝土桩施工质量。

6 结语

通过进行素混凝土桩施工的试验, 确定所使用的机械设备、混凝土材料、人员等满足要求, 可以为后续大范围施工的开展提供参照和指导。

试验所使用的施工工艺及工法、质量控制措施等满足素混凝土桩施工要求, 能够用于指导后续素混凝土桩大规模施工, 如遇桩长变化较大, 再进行现场试桩决定。振动沉管设备符合要求, 该法对地基有挤密作用、经济快捷、能保证施工质量。

通过素混凝土桩施工, 增强了对路基施工各个环节的认识和把握。同时也发现了在首件施工过程中存在的问题, 在后续施工中将严格按照改进措施施工, 不断完善和优化。

参考文献:

- [1] JTG B01—2014, 公路工程技术标准[S].
- [2] JTG F80/1—2017, 公路工程质量检验评定标准(第一册土建工程)[S].
- [3] JTG F10—2006, 公路路基施工技术规范[S].