

天津高新区 117 大厦超长桩钻孔施工技术

聂金玲

(河北建设勘察研究院有限公司,河北 石家庄 050031)

摘要:天津高新区中央商务区 117 大厦桩基设计为超长桩,质量要求高,施工难度大。施工过程中通过对孔口护筒埋设、泥浆质量、孔内液面高度、孔位偏差、钻孔垂直度和孔底沉渣的有效控制,不仅钻孔质量达到设计要求,而且钻孔效率高,成本较低。介绍了 117 大厦超长桩灌注桩工程的施工情况,其经验可供类似工程借鉴。

关键词:钻孔灌注桩;超长桩;自行式钻机;泵吸反循环;钻孔垂直度;泥浆

中图分类号:TU473.1⁺4 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2012)06-0064-04

Construction Technology of Borehole for Super-long Pile of 117 Mansion in Tianjin/NIE Jin-ling (Hebei Research Institute of Construction and Geotechnical Investigation Co. Ltd., Shijiazhuang Hebei 050031, China)

Abstract: Super-long pile was designed for the pile foundation of 117 mansion in the central business district of high-tech zone in Tianjin with high quality requirement and construction difficulties. The paper introduced the construction of super-long bored grouting pile, by the effective control on embedment of steel protective pipe at borehole entrance, mud quality, hole position deviation, borehole verticality and sediment on bottom, borehole quality reached the design requirements with high drilling efficiency and lower cost.

Key words: bored grouting pile; super-long pile; self-travelling drill; pump suction reverse circulation; borehole verticality; mud

天津高新区中央商务区 117 大厦作为天津地标性建筑,建筑总高度为 597 m,桩基设计为超长钻孔灌注桩,钻孔垂直度要求高,施工难度大。在该工程超长桩施工中,我司首次采用 GZ200 型自走式反循环钻机施工百米深钻孔,取得了较好的效果。本文结合工程实际,系统地总结了天津高新区 117 大厦超长桩钻孔施工中的关键技术和措施。

1 工程概况

天津市高新区软件及服务外包基地综合配套区——中央商务区 117 大厦位于天津市西青区,拟建地下 3 层(局部 4 层),地上 117 层,建筑总高度 597 m。117 大厦基础采用钻孔灌注桩,共设计桩径为 1000 mm、孔深约 99 m、有效桩长为 76.5 m 的工程桩 941 根,单桩抗压竖向承载力特征值为 16500 kN。混凝土设计强度等级为 C50,桩孔垂直度允许偏差 $< 1/200$,桩底沉渣厚度 ≤ 100 mm,孔深允许误差为 $0 \sim +300$ mm,孔位偏差 ≤ 100 mm。

天津 117 大厦场地为海相与陆相交互沉积地层,各地层详见表 1。

针对本工程桩基特点和地质条件,要确保钻孔桩垂直度及提高钻进效率,如选择扭矩较小的钻机,

由于其配套钻杆抗扭性能不强,常会发生钻杆断裂、掉钻事故,而且钻进速度较慢,势必影响钻进效率。而扭矩太大的钻机由于其自重较大,移位不便,施工效率低,因此也不宜在此工程中使用。

在施工过程中,选用了 GZ200 型自走式反循环钻机进行桩基钻孔施工,该钻机为转盘式回转钻机,最大钻孔直径为 2.0 m,最大扭矩为 $15 \text{ kN} \cdot \text{m}$,提升能力为 80 kN,配套 8PS 型砂石泵和 $\varnothing 219 \text{ mm}$ 钻杆,可采用正循环和泵吸反循环排渣方式。

2 试成孔

由于本工程施工场地大、桩数多,为更好的检验拟选用的设备是否适应场区内的地质条件,同时为获得相关施工参数,保证桩基施工的顺利进行,在工程桩正式施工前,在施工场地外、红线内区域进行了试成孔施工。

试成孔施工除满足设计要求外,还应重点注意以下事项。

(1)试成孔施工时应详细记录地层的变化情况,不同地层施工时的钻压、转速、进尺等钻进参数,出口及入口处泥浆密度、粘度、含砂率、pH 值等性能指标。

(2)按设计要求测定成孔后 0、6、12、18、24、30、

收稿日期:2011-12-29;修回日期:2012-04-16

作者简介:聂金玲(1984-),女(汉族),山西临汾人,河北建设勘察研究院有限公司助理工程师,计算机科学教育专业,从事技术管理工作,河北省石家庄市建华南大街 58 号,njl-lx@163.com。

表 1 117 大厦主要地层情况

成因年代	大层编号	地层序号	岩性	大层层顶标高/m	颜色	塑性/密实度
人工堆积层 Q_{ml}	1	① ₁	杂填土	1.45 ~ 3.69	杂	可塑
		① ₂	素填土		黄褐 ~ 褐黄(暗)	
全新统上组河床 ~ 河漫滩相冲积层 Q_4^{3al}	2	② ₁	粉质粘土	-3.55 ~ 2.02	褐黄(暗)	可塑 ~ 软塑
		② ₂	粉土		褐黄(暗) ~ 灰黄	中密 ~ 密实
全新统中组浅海相沉积层 Q_4^2m	3	③ ₁	粉质粘土	-5.55 ~ -1.76	灰	软塑 ~ 可塑
		③ ₂	粉土		灰	中密 ~ 稍密
		③ ₃	粉砂		灰	中密
全新统下组沼泽相沉积层 Q_4^1h	4	④	粉土	-16.65 ~ -10.06	浅灰	密实 ~ 中密
全新统下组河床 ~ 河漫滩冲积层 Q_4^1al	5	⑤ ₁	粉质粘土	-19.04 ~ -14.60	褐黄 ~ 黄褐	可塑 ~ 软塑
		⑤ ₂	粉土		褐黄 ~ 黄褐	密实 ~ 中密
上更新统五组河床 ~ 河漫滩相沉积层 Q_3^5al	6	⑥ ₁	粉质粘土	-23.86 ~ -18.09	褐黄 ~ 黄褐	可塑 ~ 硬塑
		⑥ ₂	粉土		褐黄	密实
上更新统三组河床 ~ 河漫滩相沉积层 Q_3^3al	7	⑦ ₁	粉质粘土	-31.35 ~ -24.66	褐黄	可塑 ~ 硬塑
		⑦ ₂	粉砂		褐黄	密实
		⑦ ₃	粉土		褐黄	密实 ~ 中密
		⑦ ₄	粉质粘土		褐黄 ~ 黄褐	可塑
		⑦ ₅	粉砂		褐黄	密实
上更新统二组滨海潮汐带沉积层 Q_3^2m	8	⑧ ₁	粉质粘土	-53.88 ~ -47.80	黄褐 ~ 褐黄	可塑 ~ 硬塑
		⑧ ₂	粉砂		褐黄	密实
上更新统一组河床 ~ 河漫滩相沉积层 Q_3^1al	9	⑨ ₁	粉质粘土	-69.04 ~ -63.65	黄褐 ~ 褐黄	可塑
		⑨ ₂	粉土		灰黄	密实
中更新统上组滨海三角洲相沉积层 Q_2^3mc	10	⑩ ₁	粉质粘土	-77.31 ~ -70.90	灰褐 ~ 灰黄	可塑 ~ 硬塑
		⑩ ₂	粉土		褐黄	密实
		⑩ ₃	粉砂		灰黄	密实
		⑩ ₄	粉质粘土		黄灰 ~ 灰黄	可塑
		⑩ ₅	粉砂		黄灰	密实
中更新统中组沼泽相沉积层 Q_2^2h	11	⑪ ₁	粉质粘土	-102.95 ~ -98.86	黄灰 ~ 灰黄	可塑
		⑪ ₂	粉质粘土		灰黄 ~ 灰绿	可塑

36 h 等不同时间节点的孔径曲线和孔底沉渣厚度,并观察泥浆的渗漏情况。

(3) 根据试成孔的测试结果进行分析总结,并根据分析结果确定工程桩施工时的钻进工艺参数、泥浆性能指标等,并对试成孔中发生的问题制定相应的预防及处理措施,以保证工程桩的顺利施工。

3 钻孔施工关键技术

3.1 埋设孔口护筒

孔口护筒具有导正钻具、控制桩位、保护孔口、隔离地表水渗漏、防止地表坍塌、保持孔内水头高度及固定钢筋笼等作用。117 大厦超长桩由于桩径较小,泵吸反循环钻进时砂石泵排浆量较大,导致泥浆对孔口的冲刷剧烈,因此护筒埋设的质量直接影响到孔口孔壁的稳定。

本工程护筒采用壁厚 4 ~ 6 mm 的钢护筒,护筒长度 > 1.5 m,护筒直径为 1.2 m,采用挖埋法埋设。调整护筒中心与垂直度偏差满足要求后,护筒外采用粘性土振捣密实。为防止钻进过程中泥浆外溢污染场地,护筒高出地面约 20 cm,并在周围采用粘性

土形成围堰,如图 1 所示。



图 1 埋设好的孔口护筒

3.2 泥浆质量控制

钻孔灌注桩施工中泥浆具有携带钻渣、稳固孔壁、冷却和润滑钻具等作用,因此泥浆性能指标选取的合理与否不仅关系到钻孔质量,而且影响到钻进效率和工程成本。

分析本场地地质条件,主要地层为可塑 ~ 硬塑的粉质粘土和密实的粉土层,不仅原地层造浆能力较强,而且孔壁也较为稳定。因此,117 大厦钻孔施工时采用原地层造浆,采用较小的泥浆粘度和密度,

既保证了孔壁的稳定,又提高了钻进效率。整个钻孔过程控制泥浆指标为粘度 $17 \sim 20$ s,密度 $1.07 \sim 1.15$ g/cm³。

3.3 孔内泥浆液面的控制

本工程超长桩钻孔施工采用泵吸反循环排渣,GZ200型自走式反循环钻机配备8PS型砂石泵,砂石泵的排量 >400 m³/h,而桩孔直径仅为1.0 m,每米体积仅为0.785 m³。钻孔时如果泥浆循环管路过长,泥浆回流不及时,孔内液面将快速下降,极易导致孔壁失稳坍塌。因此本工程超长桩施工时配备了专用移动式泥浆箱,每个泥浆箱的容积约为25 m³,钻孔施工时泥浆箱回浆管与孔位的距离 ≥ 3 m,钻孔时利用砂石泵将泥浆直接排至泥浆箱内,经过泥浆箱沉淀后及时回流到孔内,避免了孔内液面下降过大,保证了孔壁稳定。

3.4 桩位偏差控制

本工程设计桩顶标高距离地面约22.5 m,而桩位允许偏差要求 ≤ 100 mm。为保证桩位偏差满足要求,采取的主要措施如下。

3.4.1 严格控制测量精度

在埋设护筒前利用全站仪测放桩位,桩位测放偏差 < 5 mm,桩位测放完毕经自检合格后,由监理工程师进行复检,满足精度要求后进行标识。护筒埋设时严格控制平面位置及垂直度偏差,护筒中心与桩位中心偏差 ≥ 20 mm,垂直度偏差 $< 1/200$ 。钻机就位后复测对中情况,确保钻机就位后的对中偏差 ≥ 20 mm。

3.4.2 确保空孔段钻孔垂直

当钻孔深度较浅时,由于泥浆泵管质量大于孔内钻具质量,钻具在泥浆管的拉力作用下倾斜,导致钻孔倾斜。为此,开孔阶段将泥浆管用钢丝绳悬挂在钻机塔架上,并利用2 m长靠尺测量钻杆,以保证钻杆始终处于垂直状态。

在钻进过程中,使钻机转速 < 12 r/min,同时缓慢给进,以防止该孔段偏斜。

3.5 钻孔垂直度的控制

117大厦钻孔灌注桩孔深达99 m,而钻孔垂直度要求 $< 1/200$,为达到此要求,主要采取了以下措施。

3.5.1 确保钻机就位时钻架垂直

钻机就位前在液压支腿部位预先铺设钢板,就位后调整液压支腿使钻机底盘水平、钻架垂直。在施工过程中经常检查钻机底盘的水平度和钻塔垂直度,在孔深15、30和60 m时必须强制检查。钻机转盘水平度检测利用水平尺,钻塔垂直度检测利用2 m长靠尺,检查水平度误差 ≥ 5 mm,垂直度误差 ≥ 2

mm,否则应对钻机进行调整。

3.5.2 合理的钻头结构

本工程选用三翼双腰带刮刀钻头(如图2),钻头直径为1000~1020 mm,钻头锥尖角为120°,采用一字形前导,前导部分宽为50 cm,以增加钻头的导正效果。同时增加上、下腰带之间的距离和上腰带的宽度,使上、下腰带高度达到1.3 m,上腰带宽达40 cm,以增加钻头的防斜效果。



图2 双腰带三翼刮刀钻头

本工程所选用的钻头,不仅具有较好的防斜效果,而且粘质粘土和粉土被切削成长条状和块状排出,钻进效率较高。

3.5.3 针对易斜地层进行重点控制

根据试成孔经验,当钻进至第9层时,钻孔易于偏斜。因此在施工过程中,重点控制该段的钻进参数。一是发现地层变化时,采取减压钻进,降低转速;钻压控制在10~15 kPa,转速 ≥ 20 r/min;二是在该部位进行多次扫孔,对钻孔进行纠偏,使后继钻孔垂直。

3.5.4 对于垂直度偏差超过设计要求的钻孔进行纠偏

终孔后采用超声波对钻孔进行检测,如发现钻孔垂直度偏差超过设计要求,则根据偏斜情况重新下钻进行扫孔,扫孔时应从偏斜段以上3 m处开始,直至终孔深度。扫孔应坚持轻放慢扫的原则,以保证将偏斜孔段纠直。

3.6 孔底沉渣厚度控制

为满足孔底沉渣厚度 ≤ 100 mm的要求,钻孔施工过程中采取了二次清孔工艺,并严格控制一次清孔后的泥浆性能指标。

3.6.1 泵吸反循环一次清孔

钻孔深度达到设计要求后,利用钻机泵吸反循环一次清孔。清孔时将钻杆提高孔底8~10 cm,维持泥浆循环,缓慢回转钻具,并置换孔内泥浆,使泥浆指标达到:粘度16~18 s,密度 ≤ 1.10 g/cm³,含砂率 $\leq 3\%$,且孔底无沉渣后提钻安放钢筋笼。

3.6.2 气举反循环二次清孔

在灌注混凝土前利用导管气举反循环二次清孔,二次清孔时利用 VF7/7 型空气压缩机,在导管内下入 42 m 长风管,通过风管送入压缩空气,使压缩空气与泥浆混合形成密度较小的气水混合物,在孔内泥浆液柱压力下通过导管携带钻渣排出孔外进行清孔。二次清孔时的泥浆指标应达到:粘度 16 ~ 18 s,密度 1.05 ~ 1.10 g/cm³,含砂率 ≤ 1%。孔底

经检测无沉渣,且孔深达到原钻进深度。

4 钻孔质量检测及控制

为确保桩基质量达到设计要求,加强钻孔前、钻孔过程及终孔后的检测与控制,具体控制项目见表 2。对于检测中发现的不合格项,及时进行纠正及处理,直至检测合格后方可进入下道工序施工。

表 2 钻孔质量检测及控制项目

施工阶段	控制项目	技术指标或允许偏差	检测及控制方法
钻孔前	桩位偏差	≤ 5 mm	测量定位后由第三方进行两级复核
	孔口护筒	垂直度 < 1/200,护筒中心与桩位偏差 < 20 mm	钻机就位前检查护筒埋设情况
	钻机平整度	底盘水平度偏差 < 5 mm	钻机就位后利用水准管检测
	钻头直径	< 1000 mm	开孔前利用钢尺检测
钻孔施工过程	钻杆垂直度	≤ 2 mm	孔深 15、30 和 60 m 时利用 2 m 靠尺检测
	泥浆指标	粘度 17 ~ 20 s,密度 1.07 ~ 1.15 g/cm ³	利用泥浆测试仪每班 2 次检测
	钻进参数	钻压 10 ~ 15 kPa,转速 ≥ 20 r/min	钻进至变层部位时进行控制
	孔内泥浆液面高度	不低于护筒顶面以下 1 m	专人随时观测
	孔深	0 ~ + 300 mm	准确测量每根钻杆长度及终孔时钻杆余尺
终孔后	孔深	0 ~ + 300 mm	钢丝测绳检测
	孔底沉渣厚度	≤ 100 mm	沉渣测定仪检测
	钻孔直径	0 ~ + 50 mm	井径仪及超声波钻孔检测仪检测
	钻孔垂直度	< 1/200	超声波钻孔检测仪检测
	泥浆指标	一清后:粘度 16 ~ 18 s,密度 ≤ 1.10 g/cm ³ ,含砂率 ≤ 3% 二清后:粘度 16 ~ 18 s,密度 1.05 ~ 1.10 g/cm ³ ,含砂率 ≤ 1%	利用泥浆测试仪孔口取样检测

5 结语

(1)天津 117 大厦超长钻孔灌注桩利用自走式反循环钻机成孔,成孔速度快,钻孔质量可靠。经统计,最短成孔周期仅为 28 h,平均成孔周期为 44 h,远远高于正循环钻机和气举反循环钻机。同时整机功率仅为 75 kW,能耗小,施工成本较低。

(2)经对完成的 271 根桩利用超声波测孔仪进行检测,钻孔垂直度达到 1‰ ~ 4.5‰,孔底沉渣厚度为 21 ~ 50 mm,钻孔深度误差为 0 ~ 150 mm,孔径为 1000 ~ 1093 mm,远远高于设计要求。

参考文献:

[1] JGJ 94 - 2008,建筑桩基技术规范[S].
[2] 廖光华. 泵吸反循环施工大口径灌注桩钻进深度的理论分析[J]. 探矿工程,2000,(6):15 - 16.
[3] 许刘万,史言兵,王兴无,等. 大直径钻孔用刮刀钻头的设计与应用[J]. 探矿工程,2001,(S1):152 - 156.
[4] 杨德才. 温州世贸中心大厦超深大直径钻孔灌注桩施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(1):27 - 29.
[5] 王辉,余地华,汪浩,等. 天津 117 大厦高承载力超大长径比试验桩施工技术[J]. 施工技术,2011,40(5):23 - 25.
[6] 张广亮,刘建涛,陈益敏. 娄江特大桥深孔泵吸反循环工艺的改进[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(6):47 - 50.

(上接第 57 页)

梯度过大产生较大的波动,所以间距不可过密,但也不能太小,否则将影响热量的传递。

参考文献:

[1] Metz PD. The use of ground-coupled tanks in solar-assisted heat pump system[J]. Journal of Solar Energy Engineering,1982,104(4):366 - 372.
[2] 江彦,高青,李明,等. 套管式地下换热器传热模型及特性分析[J]. 吉林大学学报,2007,37(5):1035 - 1038.
[3] 杨卫波,董华. 土壤源热泵系统国内外研究状况及其发展前景[J]. 建筑热能通风空调.2003,(3):52 - 55.
[4] 孙友宏,胡克,等. 岩土钻掘工程应用的又一新领域——地源热泵技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2002,(S1):7 - 12.

[5] 庄迎春,孙友宏. 地源热泵地下直埋式换热器的施工[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2002,(2):10 - 11.
[6] 杨世铭,陶文铨. 传热学[M]. 北京:高等教育出版社,2002.
[7] 陶文铨. 数值传热学[M]. 陕西西安:西安交通大学出版社,2001.
[8] 张朝晖. ANSYS8.0 热分析教程与实例分析[M]. 北京:中国铁道出版社,2005
[9] 孔祥谦. 有限元法在传热学中的应用[M],北京:科学出版社,1998.
[10] 李守圣,赵大军,赵研. 混凝土储热桩的储热试验研究[J]. 人民黄河,2010,32(2):99 - 101.
[11] BOSE J E. Closed-loop ground-coupled heat pump design manual [C]. Engineering Technology Extension, Oklahoma State University,1984.
[12] 赵研. 太阳能地下混凝土存取热试验研究与数值模拟[D]. 吉林长春:吉林大学,2010.