

东营黄河大桥超长钻孔桩机具选择与施工控制

侯景德

(中铁十四局集团有限公司,山东 济南 250014)

摘要 东营黄河公路大桥主桥基础采用 $\varnothing 1.5$ m 超长钻孔灌注群桩,主墩基础钻孔桩长 115 m,桩中心间距 3.9 m。主要介绍主桥基础施工中对钻孔机具设备的优化选择和施工控制。

关键词 东营黄河大桥,超长钻孔桩,机具选择,施工控制

中图分类号 :U445.55⁺1 **文献标识码** :B **文章编号** :1672-7428(2006)08-0024-04

1 工程概况

东营黄河公路大桥全长 2743.1 m,主桥上部结构为(116+200+220+200+116)m 预应力钢筋混凝土刚构-连续结合梁,主桥基础采用 $\varnothing 1.5$ m 超长钻孔灌注群桩,共 206 根计 22670 延米。其中 9、10 号主墩分别设置 49 根长 115 m 群桩基础,8 号墩设置 42 根长 108 m 群桩基础,11 号墩设置 42 根长 112 m 群桩,7、12 号墩设置长为 90 m 的群桩基础,桩中心间距 3.9 m。桩基采用 C30 防腐砼,砼配合比中掺加了一定量的矿物质超细粉和高效减水剂。

桩基位置处原地面以下 3 层为透水性强、触动易液化的软塑、局部流塑状的粉细砂、亚砂土层。3 层以深的地层基本为亚砂土与亚粘土交替布置,局部地层中夹杂厚度不等的粉细砂薄层,地质条件复杂。

2 钻孔灌注桩钻孔方法的优化选择

钻孔灌注桩施工中,钻孔方法的优化选择是钻孔桩施工的关键环节。

2.1 正循环回转钻

优点 钻进与排渣同时连续进行,故成孔速度较快,钻孔深度较大,国内最大钻进深度可达 100 m。

缺点 需要设置泥浆池,施工场地较大,容易造成污染,若泥浆稠度控制不当容易降低桩周摩擦力。

2.2 反循环回转钻

优点 排除钻渣连续性好,速度较正循环快,功效高。目前此类最大嵌岩桩钻孔直径可达 2500 mm,普通土层钻孔直径可达 3000 mm,深度在 80~100 m。此类钻机排渣不需要泥浆,在孔壁十分稳定的地层中甚至可以使用清水钻进,其孔壁保护膜较薄,对桩

基摩擦力影响较轻。

缺点 扩孔率远远大于正循环钻机,钻机结构复杂,每延米造价偏高,特别是超过百米的长桩,造价会明显增加。

2.3 冲抓钻、冲击钻

适用于带有砂粒石或卵石的土层,钻进速度较慢,一般适用于成孔深度在 50 m 以下的桩基。

2.4 钻孔方法的确定

因本桥桥位处的地质条件复杂,上部地层多为液化性流塑状砂土,地层中不含卵石,在钻进过程中地层极不稳定,且成孔较深,成孔周期较长,需要良好的泥浆护壁,因此从施工质量、安全控制方面考虑,选用了正循环回转钻进方法。

3 钻孔灌注桩施工配套设备优化选择

3.1 砼拌和及运输设备选择

砼拌和机械设备主要根据拌和机的生产效率、每根桩需要灌注的砼数量和适当灌注时间来计算。延长砼灌注时间可减少拌和机的数量和劳动力,但是灌注时间过长容易发生灌注质量事故。本桥根据下式计算砼拌和机械数量 n :

$$n = V / (hP)$$

式中: V ——钻孔中应灌注砼数量,按 120 m 桩长,扩孔系数按 1.1 选取计算; h ——砼灌注时间,取 6~8 h; P ——砼拌和机械生产率, m^3/h , $P = V_0 S \alpha$; V_0 ——每次拌制的砼体积; S ——每小时的拌料次数; α ——拌和机体积利用系数,取 0.75~0.85。

经统筹比较计算:用 2 台 50 m^3/h 拌和机作为砼拌和设备,砼运输采用 4 台 6 m^3 罐车,同时配备 2 台 120 kW 备用发电机。

收稿日期 2006-05-28

作者简介:侯景德(1967-)男(汉族),山东郓城人,中铁十四局集团有限公司工程管理部副部长、高级工程师,机械设计与制造专业,从事工程管理工作,山东省济南市和平路 1 号(0531)88385167,ztssjgcb@126.com。

3.2 钢筋笼及检测管安装设备选取

东营黄河大桥主桥桩基配置钢筋笼长度 65 m, 检测管与桩基等长。为尽快安装钢筋笼, 减少泥浆沉淀, 防止坍孔事故的发生, 必须尽快的安装钢筋笼。为此将钢筋笼分为 3 节制作, 下放过程中用 2 台 25 t (250 kN) 吊车配合钻机进行, 同时配备 4 台焊机连续焊接钢筋笼和检测管接头。

3.3 钻孔设备及机具的选择

根据该工程孔深及地质情况, 选用扭矩大、稳定性好的钻机, 正循环作业。经比较, 选用 GW-250 型全液压回转钻机。选用 2 台 3PN 型砂石泵, 排渣方式为泵吸正循环。钻头用双腰带笼式锥形钻头。Ø210 mm × 3800 mm 主动钻杆, Ø219 mm × 3000 mm 圆钻杆。

4 钻机及钻杆安全性能计算

4.1 钻机性能

GW-250 型全液压回转钻机主要性能如下: 钻杆直径 2500 mm, 钻孔深度 150 m, 转盘扭矩 80 kN·m, 提升能力 45 t (450 kN), 驱动动力功率 75 kW, 钻机质量 22 t。

4.2 钻杆安全性能验算

由于超长钻孔桩的钻杆受力比较复杂, 正循环回转钻机的钻杆在传递动力时, 钻杆的上段受拉, 下段受压, 同时还应以受弯曲应力和扭曲应力来验算钻杆截面是否安全, 以免在钻进过程中钻杆因被扭断而发生施工隐患。

4.2.1 受压长度计算

深长桩施工时一般采取减压钻进的方式进行施工, 即仅用钻杆重力向孔底加压, 而钻杆的重力一般是由钻架的吊钩承受的, 在泥浆浮力作用下, 有一部分钻杆长度受压:

$$z = \rho_d L / \rho_{dl} \quad (1)$$

式中 z ——受压长度, m; ρ_d ——泥浆的相对密度, 取 1.35 kg/L; ρ_{dl} ——钻杆钢材的相对密度, 取 7.85 kg/L; L ——钻杆全长, 取 130 m。

计算得 $z = 22.4$ m。

4.2.2 半波长度计算

钻杆在轴向压力和回转时的离心力作用下发生弯曲变形, 半波长度按下式计算:

$$l = (10/\omega) \sqrt{\pm 0.5z + \sqrt{0.25z^2 + 1.926J\omega^2/q}} \quad (2)$$

(第一个根号内对下部受压段取负号, 上部受拉段取正号)。

式中 l ——半波长度, m; ω ——钻杆的转速, $\omega = 2\pi n/60$; n ——转数, 最大转数取 27 r/min; J ——钻杆的截面惯性矩, cm^4 , $J = (\pi/64)(d^4 - d_1^4) = (3.14/64) \times (21.9^4 - 17.9^4) = 6248.8 \text{ cm}^4$; q ——单位长度钻杆重力, 取 9.8 N/cm。

将以上数据代入式(2)得 $l = 36.8 \text{ m} = 3680 \text{ cm}$ 。

4.2.3 钻杆压应力计算

$$\sigma_y = p_0/A = \frac{p_0 \times 10^{-2}}{(\pi/4)(d^2 - d_1^2)} \quad (3)$$

式中 σ_y ——钻杆压应力, MPa; p_0 ——减压钻进时取钻杆重力, 实际取为 13400 N; d 、 d_1 ——分别为钻杆的外径和内径。

将以上数据代入式(3)得 $\sigma_y = 1.07 \text{ MPa}$ 。

4.2.4 钻杆弯曲应力计算

$$\sigma_w = M/W = (\pi^2 E J f d) / (2j l^2) \approx (9.87 \times 10^3) / 1.5 \times (d/l) \quad (4)$$

式中 σ_w ——钻杆弯曲应力, MPa; E ——钻杆弹性模量, $E = 1.962 \times 10^5 \text{ MPa}$; l ——半波长度, cm; f ——半波中点挠度, 取 $1/150$ l 。

将以上数据代入式(4)得 $\sigma_w = 39 \text{ MPa}$ 。

4.2.5 钻杆扭应力计算

$$\tau = (9550 \lambda e N) / (n W_n) \quad (5)$$

式中 τ ——钻杆中的扭应力, MPa; N ——钻机功率, 实际取 75 kW; λ ——超载系数, 一般取 1.1; e ——传动效率, 取 0.7; W_n ——钻杆抗扭矩, cm^3 ; n ——钻杆转数, 取最大转数 $n = 27 \text{ r/min}$ 。

W_n 可按下式计算:

$$W_n = \frac{\pi}{16} \left(\frac{d^4 - d_1^4}{d} \right)$$

计算得 $W_n = 1141.3 \text{ cm}^3$ 。

将以上数据代入公式(5)得 $\tau = 17.9 \text{ MPa}$ 。

4.2.6 钻杆拉应力计算

$$\sigma_1 = 9.81 k_1 k_2 \beta (A/A_0) (\gamma_1 - \gamma) \times 10^{-3} \quad (6)$$

式中 σ_1 ——钻杆中的拉应力, MPa; k_1 ——提升系数, 取 1.2; k_2 ——提升惯力系数, 取 1.1; β ——由于接头箍、钻杆端加厚, 使得轴向荷载增大系数, 取 $\beta = 1.05$; A ——钻杆的横截面积, cm^2 ; A_0 ——钻杆的最小横截面积, cm^2 ; A/A_0 取 1.1; l ——钻杆的长度, 取 130 m; γ ——泥浆相对密度, 取 1.35 kg/L; γ_1 ——钢材的相对密度, 取 7.85 t/m³。

将以上相关数据代入式(6)中得 $\sigma_1 = 11.5 \text{ MPa}$ 。

4.2.7 对受压段进行合成应力计算

$$\sigma_h = \sqrt{(\sigma_y + \sigma_w)^2 + 4\tau^2}$$

$$= \sqrt{(1.07 + 39)^2 + 4 \times 17.9^2} = 53.7 \text{ MPa} \quad (7)$$

4.2.8 对受拉段进行合成应力计算

$$\sigma_h = \sqrt{(\sigma_1 + \sigma_w)^2 + 4\tau^2}$$

$$= \sqrt{(1.5 + 39)^2 + 4 \times 17.9^2} = 62.9 \text{ MPa} \quad (8)$$

因为钻杆的应力是脉动和交变的,所以应使 σ_h $< [\sigma_{-1}]$ (钻杆的容许疲劳强度)。

$[\sigma_{-1}] = \sigma_{-1} / (\mu\alpha) = 0.4 \times$ 钢材的极限抗拉强度 $/ (\mu\alpha)$

式中 μ ——钻杆的安全系数,取 1.3; α ——钻杆螺纹处的应力集中系数,取 2.5。

计算得 $[\sigma_{-1}] = 86.2 \text{ MPa}$ 。

钻杆采用 45 号钢材制作,根据计算,其应力满足施工需要。

5 施工情况

GW-250 型全液压回转钻机,稳定性好,振动小,对相邻孔位和钻孔平台施工干扰较小,适合于较软弱的亚砂土、粘性土地质条件下桩基施工,施工质量均满足设计要求(孔的倾斜度 $\leq 0.5\%$ 、孔位偏差 $\geq 5 \text{ cm}$),进度也较为理想,根据钻孔资料统计,平均 8 天左右成一个孔。

6 超长钻孔桩施工控制事项

6.1 严格控制钻孔顺序

因工期紧,桩基数量多,所以每个钻孔平台位置摆放 5 台钻机,要使 5 台钻机同时作业施工且相互干扰,同时确保施工中成孔的质量,必须首先对钻孔顺序进行合理编排。

钻机布置原则:由于单个承台下桩基数量多,桩间距较小且地层承载力差,所以在钻机施工前 2~3 天将护筒打入设计深度,使之静置 1~2 天,使因插打钢护筒振动液化的砂土重新固结,防止在钻孔过程中因砂土液化发生涌砂及串孔现象;另外桩间距较小,为防止两相邻钻机作业时由于振动或相互间水头作用影响,而使下部的地层发生扰动,严禁相邻两根桩同时开钻,在实际钻进时按隔桩钻进的原则施工。图 1 为主桥 8 号墩桩基钻孔顺序,9、10、11 号墩与此墩相同。

6.2 合理控制转速

泥浆指标是保证成孔的关键,泥浆密度及粘度偏低则容易塌孔,偏高则不利于钻进,且会造成孔壁泥皮过厚而降低桩周摩擦力。结合实际情况,对于

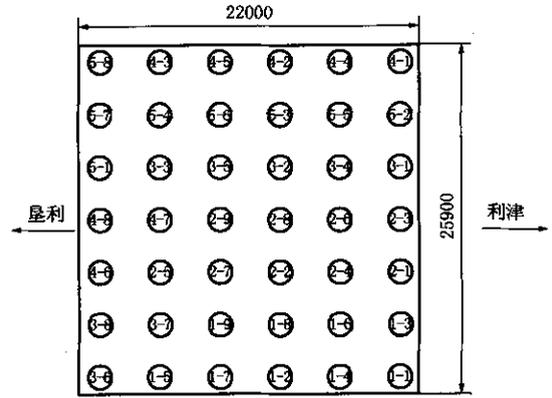


图 1 8 号墩钻孔顺序布置图

注(1)开钻顺序 1-2-3-4-5 相互错开 1~2 天,其中 5 号钻机落后于 4 号钻机 4 天;(2)图中数字,前面的代表钻机号,后面的代表该钻机的钻孔序号;(3)在相邻情况下,采取以下措施:行列相邻,在第一根桩灌注完毕 4 天以后,相邻桩开钻;对角线相邻,在第一根桩灌注完毕 2 天以后,相邻桩开钻。

亚砂土地层,采用水、膨胀土和碱按一定比例配制泥浆进行护壁;对于粘性土(亚粘土)地层,直接利用自身粘土造浆护壁。根据主桥桩基钻孔较深及桩位处地层条件较差的特殊性,本桥钻孔桩全部采用正循环钻进方法。在施工中一定按现场技术、试验人员的要求,配制最佳泥浆,使泥浆确实起到护壁作用,严防塌孔事故发生。泥浆性能指标见表 1。

表 1 泥浆指标参数表

地 层	泥浆密度 ($\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$)	钻进转速 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	粘度 /s	含砂率 /%	胶体率 /%
①层亚砂土	1.30 ~ 1.45	10 ~ 15	19 ~ 28	≤ 4	≥ 96
①层亚粘土	1.25 ~ 1.35	10 ~ 15	16 ~ 22	≤ 4	≥ 96
②~⑩层亚砂土	1.30 ~ 1.45	15 ~ 20	19 ~ 28	≤ 4	≥ 96
②~⑩层亚粘土	1.25 ~ 1.40	30 ~ 35	16 ~ 22	≤ 4	≥ 96
粉细砂	1.35 ~ 1.45	10 ~ 15	19 ~ 28	≤ 4	≥ 96

开始钻进时保持低挡慢速进行,泥浆密度取控制的上限,使之起到护壁的作用,刚开钻时泥浆密度有一个相对稳定时期,每隔 15~20 min 检测泥浆指标并及时调整,根据钻杆进尺,当钻头接近护筒底部时,要特别注意将转速放至最慢挡位且调整泥浆密度至最大,使护筒底部有足够的泥浆护壁,防止护筒底部薄弱环节出现塌孔、涌砂事故。根据地质条件,本桥桩位处多是砂类土,易塌孔,所以在钻进过程中要控制进尺、轻压、低挡慢速进行,施工中将钻头适当提起,防止出现钻头及钻杆的重力全部靠孔底砂土承受形成扩孔。

根据排出泥浆情况判断钻进所到地层,据此调整转速。遇到板砂应保持低挡慢进的原则,防止塌

孔。

6.3 密切关注钻杆完好程度

鉴于桩基较长,一旦发生钻杆断裂、掉钻、糊钻等事故将很难处理,因此要加强施工过程控制,密切注意钻杆完好程度。当一节钻杆钻完后,应停止进尺,然后停泵加接钻杆接头,此时需要仔细检查钻杆接头的磨损及密封情况,以防止漏气、漏水。

6.4 桩基垂直度控制

桩基垂直度控制主要与转速、钻机稳定性和施工过程控制有关。

(1)在钻进过程中经常用水平尺检查转盘的水平度,观察测量引导钻杆前进的滑道的垂直度和稳定性,发现问题及时调整。

(2)为保证桩的垂直度和孔径在允许的误差范围内,每进尺 20~30 m 用 JJC-1A 型测井仪对桩的垂直度、孔径进行检查。若经测量垂直度或孔径不符合要求,则要扫孔至合格。

(3)钻进过程中保持减压钻进的原则,以利控制桩基垂直度。对于亚砂土及粉细砂层要保持减压、中速钻进的方式,转速一般保持在 10~15 r/min,并配置合适的泥浆密度,防止坍孔;当钻进至粘土及亚粘土层时首先将泥浆密度调至最小,同时改变转速,一般保持在 20~30 r/min。

(4)保持孔内 2.5 m 水头,严格控制各项指标,特别是泥浆密度、粘度一般按以下时间进行检测:每工作班开始时检测泥浆出口处密度、粘度,以后钻进过程中每隔 2 h 测定一次进浆口和排浆口的泥浆密度、粘度、pH 值等指标,并根据地层条件及时进行调

整,同时相应调整转速和钻压。

(5)特殊地层处理:当钻进到地面以下 50 m 左右时,会遇到亚砂土层中的“板砂”层,此类砂层比较坚硬,不易进尺,伴有“跳钻”现象。对于这类地层需要将泥浆指标调至最大,减小钻压、慢速钻进,防止出现大块“板砂”松动而扩孔,甚至坍孔。当钻到地面下 100 m 左右的亚粘土和粘土层时,容易出现“糊钻”现象。对于这类地层,应将泥浆密度和粘度调到最小,并向孔内投适量砂石,同时适当控制进尺,防止缩孔。

7 结语

东营黄河公路大桥主桥 206 根超长群桩施工中,桩基的垂直度及孔径控制良好,没有发生扩孔、缩径及孔倾等质量事故。经过对所有的桩基进行 100% 无破损检测及 3% 抽检钻心取样检验,其结果均为 I 类桩。东营黄河大桥超长钻孔灌注桩的成功事例,为复杂地质条件下超长群桩施工,积累了丰富的经验,并为同类型的桩基施工提供了良好的借鉴。

参考文献:

- [1] 交通部第一公路工程局. 公路施工手册(桥涵) [M]. 北京:人民交通出版社,1985.
- [2] 杨文渊,等. 桥梁施工工程师手册 [M]. 北京:人民交通出版社,2003.
- [3] JTJ 041-2000,公路桥涵施工技术规范 [S].
- [4] 交通部第一公路工程总公司. 桥涵 [M]. 北京:人民交通出版社,2000.