

# 锚杆静压钢管桩加固厂房桩基工程实例

吴连祥, 陆海东, 陈琳玲

(启东市建筑设计院有限公司, 江苏 启东 226200)

**摘要:** 某厂房因提高吊车吨位而对原柱下桩基采用锚杆静压钢管桩加固, 结合工程实际对该工程锚杆静压钢管桩的加固设计、施工进行介绍, 实施结果表明: 该加固方案能较好的满足柱下桩基加固设计要求。

**关键词:** 厂房改造; 增大吊车吨位; 柱下桩基; 锚杆静压; 钢管桩

中图分类号: TU41 文献标识码: A 文章编号: 2096 - 7195(2019)02 - 0070 - 06

**作者简介:** 吴连祥(1960 -), 男, 启东市建筑设计院有限公司, 教授级高级工程师, 一级注册结构工程师, 注册岩土工程师。E-mail: qdsjywlx@126.com。

## A project of industrial plant pile foundation reinforced by anchor jacked steel pipe piles

WU Lian-xiang, LU Hai-dong, CHEN Lin-ling

(Qidong Architectural Design Institute Co., Ltd. Qidong 226200, China)

**Abstract:** The anchor jacked steel pipe piles are used to reinforce the piles under the original column for increasing the crane tonnage of one factory. In combination with engineering practice, the design and construction of the anchor jacked steel pipe piles are introduced. The implementation results show that the solutions can better meet the design requirements for the of pile foundation under columns.

**Keywords:** workshop reconstruction; crane tonnage increase; pile under column; anchor jacked-down; steel pipe pile

### 1 工程概况

某公司因生产需要, 要求对既有内业车间中的第5跨局部进行提高吊车吨位的改造。工程场地内为单层多跨工业厂房, 长283.48 m, 宽229.18 m, 总建筑面积64739 m<sup>2</sup>。平面布置7跨, 跨度分别为: 23 m、36 m、36 m、36 m、36 m、36 m、24 m, 柱距以9 m为主, 檐口高度18 m, 各跨内均设有A5级工作制吊车。刚架结构, 格构式双肢柱, H型钢屋面梁, H型钢吊车梁, 钢筋混凝土独立承台+PC管桩基础。

改造范围位于内业车间的第5跨, 见图1中的阴影部分, 改造建筑面积6156 m<sup>2</sup>。该跨原在轨顶标高7.60 m处设(5T+5T)双梁双电动葫芦电磁吊车, 在轨顶标高13.56 m处设20 T电动桥式吊车。

现要求在柱顶、屋顶高度不变的前提下, 通过加固改造将13.56 m标高处的吊车吨位提高到100 T (50T+50T), 因此, 改造范围内除上部结构需作必要的加固外, 还必须对旧基础进行加固。

地貌形态为长江下游河流相冲淤积平原区, 地

势有一定起伏。在钻探深度范围内, 场地土自上而下分为7个工程地质单元层, 分别描述如下:

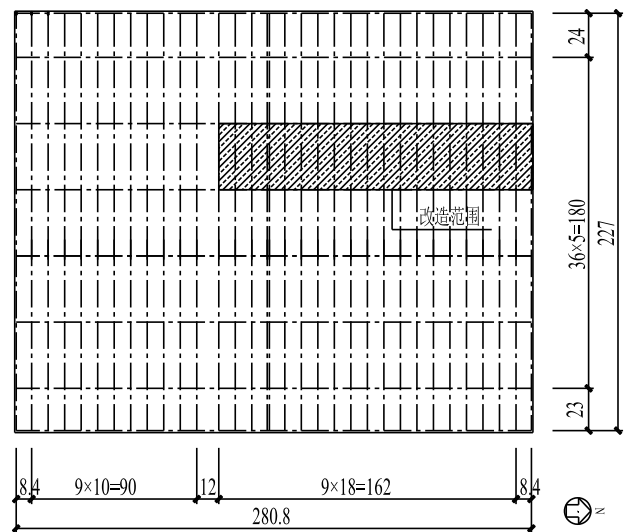


图1 改造范围平面图(m)

Figure 1 Vertical view of reconstruction

第(1)层:素填土( $Q_4^{ml}$ ),层厚0.80~5.10 m,层顶埋深0.00 m,层底标高0.39~1.84 m。灰黄、黄褐色,以粉土与粉质黏土为主。流塑~软塑,密实度不均,湿~饱和。

第(2)层:淤泥质粉质黏土( $Q_4^{al}$ ),层厚0.80~2.80 m,层顶埋深0.00~5.10 m,层底标高-3.45~-0.37 m。灰褐色,流塑。干强度中等,高韧性,摇摆反应无,切面光滑。

第(3)层:粉土夹粉砂( $Q_4^{al}$ ),层厚2.00~6.00 m,层顶埋深0.80~6.90 m,层底标高-6.20~-4.91 m。灰、青灰色,夹薄层灰褐色粉质黏土,水平层理。稍密为主,局部中密。粉土很湿;粉砂饱和。干强度低,低韧性,摇摆反应中等,无光泽。

第(4)层:粉土夹粉质黏土( $Q_4^{al}$ ),层厚2.90~5.80 m,层顶埋深4.10~11.90 m,层底标高-11.58~-8.75 m。灰色,夹层灰褐色,水平层理。粉土稍密,很湿;粉质黏土软塑。干强度低,中等韧性,摇摆反应慢,稍有光泽。

第(5)层:粉砂( $Q_4^{al}$ ),层厚3.30~6.30 m,层顶埋深7.90~17.40 m,层底标高-15.58~-13.57 m。青灰色,主要由石英、云母等原生矿物组成,为具贝壳状断口的尖角颗粒,颗粒级配不良的均粒土,夹同色粉土夹薄层灰褐色粉质黏土。中密为主,局部稍密,饱和。

第(6)层:粉土夹粉质黏土( $Q_4^{al}$ ),层厚1.80~3.60 m,层顶埋深13.10~20.60 m,层底标高-17.93~-16.43 m。灰色,夹层灰褐色,水平层理。粉土稍密,很湿;粉质黏土软塑。干强度低,低韧性,摇摆反应中等,稍有光泽。

第(7)层:淤泥质粉质黏土( $Q_4^{al}$ ),层顶埋深15.80~23.00 m,未钻穿。灰褐色,夹薄层灰色粉土,流塑。干强度中等,高韧性,摇摆反应无,切面光滑。

各土层工程特性及桩基设计参数如表1所示。

## 2 方案确定

对原基础的加固方案,必须考虑对既有车间的影响,尤其是不均匀沉降的影响,加固方案及施工工艺需充分考虑减少对原有结构的损坏及扰动,以确保加固车间及相邻车间设备设施的安全,确保相邻车间施工期间正常生产。本基础加固工程的特点是:

(1)吊车吨位提高的幅度较大,相应基础增加的内力也较大,通过对旧基础加固,要求使其承载力能得到较大幅度的提高。

(2)加固施工只能在车间内进行,尽管车间高度较高,但受制于吊车梁,柱间支撑等结构构件的影响,施工设备受到原结构高度的限制。

(3)加固施工期间相邻车间正常生产,环境保护,文明施工要求较高,必须设法减少泥浆、震动、挤压、噪声对周边环境的影响。

(4)原柱下基础为钢筋混凝土独立承台+PC管桩形式,桩径400 mm,壁厚90 mm,桩长15 m。加固方案应与之相匹配,形成整体,共同受力。

根据上述特点,加固方案只能选择桩基,施工方法的选择,经对多种桩基施工方法的优缺点分析比较后确定。

(1)钻孔灌注桩方案:优点是对原有地基干扰小,无挤土效应,但施工设备较大,移动不便,钢筋笼吊装十分困难,成桩泥浆也不利文明施工及环境保护。

(2)静压PC管桩方案,优点是与原桩型一致,但缺点是接桩困难,同时存在压桩设备无法靠近桩位的问题。

表1 各土层工程特性及桩基设计参数

Table 1 Engineering characteristics of soil layers and design parameters of pile foundation

土层编号	土层名称	土层平均厚度/m	重度 $\gamma/(\text{kN}/\text{m}^3)$	静力触探 $P_s/\text{MPa}$	压缩模量 $E_{s1-2}/\text{MPa}$	桩极限侧阻力 标准值 $q_{sik}/\text{kPa}$	桩端附近比贯入阻力 标准值 $p_{sk}/\text{kPa}$	承载力标准值 $f_k/\text{kPa}$
①	素填土	1.0		1.5				
②	淤泥质粉质黏土	1.9	17.9	0.9	4.11	15		65
③	粉土夹粉砂	3.1/1.9	18.6	4.6	9.14	15/66		140
④	粉土夹粉质黏土	4.8	18.4	2.4	6.91	33		110
⑤	粉砂	4.2	18.9	6.5	12.49	97	4900	180
⑥	粉土夹粉质黏土	2.3	18.5	3.4	8.15	50		130
⑦	淤泥质粉质黏土	5.8(未穿)	18.0	1.0	4.16	14		80

(3) 锚杆静压钢管桩方案, 优点是施工机械轻便灵活, 施工方便, 作业面小, 能耗低、无振动、无噪音、无污染, 同时采用开口钢管桩减少了挤土量, 降低了对原有地基及结构的扰动, 钢管桩接桩焊接容易保证质量。

锚杆静压桩是锚杆技术和静压桩技术相结合形成的一种桩基础施工工艺, 它通过在基础上埋设锚杆固定压桩反力架, 以建筑物所能发挥的自重荷载作为压桩反力, 用千斤顶将桩段从基础中预留的压桩孔内逐段压入土体中, 然后将桩与基础联接在一起, 从而达到提高地基承载力和控制沉降的目的。

因此, 决定采用锚杆静压钢管桩施工方法。

本工程加固范围内涉及 40 个独立柱基, 其中 CT-1: 36 个, CT-2: 2 个, CT-3: 2 个。原柱下独立承台采用 PC 管桩, 桩径 400 mm, 壁厚 90 mm, 桩长 15 m, 桩顶标高 -1.500 m, 单桩竖向承载力特征值 450 kN, 单桩竖向抗拔承载力特征值 130 kN。

CT-1 为 4 桩承台, 承台尺寸 2 m×3 m; CT-2、CT-3 均为 6 桩承台, 承台尺寸均为 3.2 m×3 m。

初步估算, 每个承台需要增设钢管桩 4 根, 两边对称布置, 除承受压力外还有可能承受拉力, 因布桩需要, 必须扩大旧承台基础底盘面积, 根据桩的中心距要求, 结合锚杆布置的构造尺寸, CT-1、CT-2、CT-3 承台沿车间跨度方向, 两边各加长 1.2 m, 分别布桩 2 根, 承台宽度不变, 考虑减小挤土效应, 钢管桩采用开口型, 桩径 325 mm, 壁厚 8 mm, 材质 Q235-B 级, 桩长及桩 6 节, 每节长度

2.5~3 m, 共布桩 160 根, 合计 2400 延长米。其中 CT-1 承台布桩加固平面如图 2 示。

### 3 设计计算

#### 3.1 单桩承载力计算

本加固工程标高与原设计标高系统一致, ±0.00 对应于国家八五高程 5.05 m, 桩顶标高 -1.45 m, 对应于国家八五高程 3.60 m, 填土层不计侧阻力, 钢管桩单桩竖向极限承载力标准值  $Q_{uk}$  按 (1) 式计算, 竖向承载力特征值  $R_a$  按 (2) 式计算。

$$Q_{uk} = u \sum q_{sik} l_i + \lambda_p q_{pk} A_p \quad (1)$$

$$R_a = \frac{Q_{uk}}{2} \quad (2)$$

式中:  $\mu$  为桩身周长;  $q_{sik}$  为桩侧第  $i$  层土的极限侧阻力标准值;  $l_i$  为桩侧第  $i$  层土的厚度;  $\lambda_p$  为桩端土塞效应系数, 取 0.8;  $q_{pk}$  为桩端附近的静力探比贯入阻力标准值 (平均值);  $A_p$  为桩端面积。

钢管桩单桩竖向抗拔极限承载力标准值  $T_{uk}$  按 (3) 式计算, 竖向抗拔承载力特征值  $T_a$  按 (4) 式计算。

$$T_{uk} = u \sum \lambda_i q_{sik} l_i \quad (3)$$

$$T_a = \frac{T_{uk}}{2} \quad (4)$$

式中:  $\lambda_i$ —抗拔系数。

按照该工程地质勘察报告提供的数据计算得, 15 m 的钢管开口桩, 单桩竖向承载力特征值 390 kN, 单桩竖向抗拔承载力特征值 119 kN。

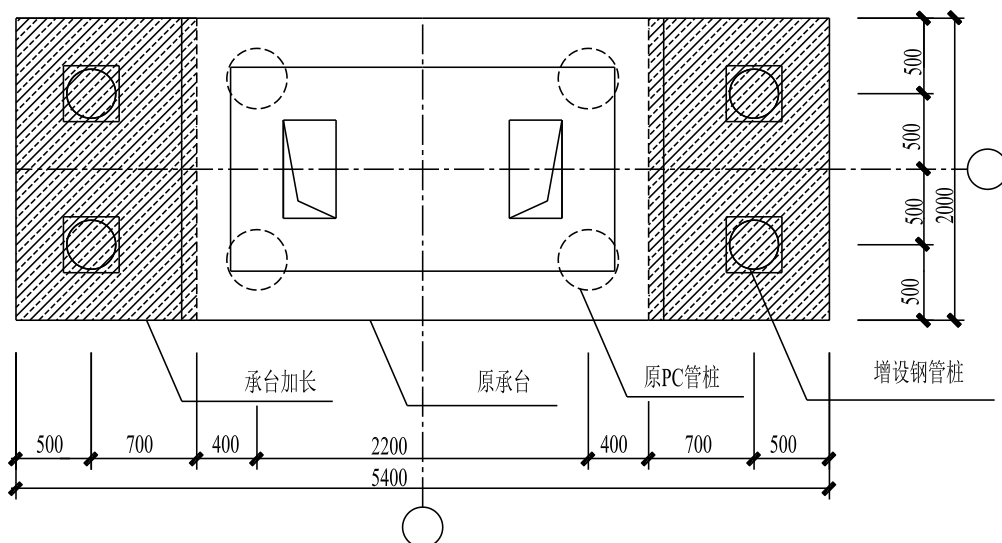


图 2 CT-1 承台布桩加固平面图 (mm)

Figure 2 Layout plan of pile arrangement of CT-1 cushion cap

### 3.2 桩基及承台验算

上部结构在吊车吨位提高至 100 T, 相应于作用的标准组合时, 计算出传至 CT-1 承台顶面的最不利组合内力值如下:

- (1)  $M = -608.43 \text{ kNm}$   
 $N_{\max} = 2928.58 \text{ kN}$   
 $V = -8.32 \text{ kN}$
- (2)  $M_{\min} = -1752.11 \text{ kNm}$   
 $N = 1734.69 \text{ kN}$   
 $V = -68.06 \text{ kN}$
- (3)  $M = -1652.39 \text{ kNm}$   
 $N = 733.63 \text{ kN}$   
 $V_{\min} = -125.59 \text{ kN}$
- (4)  $M = -1219.80 \text{ kNm}$   
 $N = 195.72 \text{ kN}$   
 $V_{\min} = -98.46 \text{ kN}$

CT-1 承台加固剖面尺寸如图 3 所示:

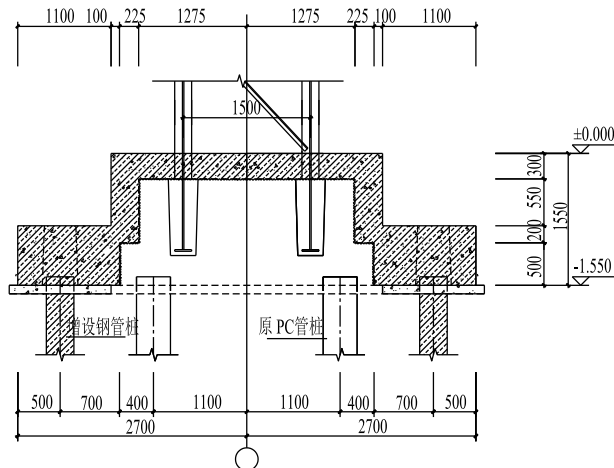


图 3 CT-1 承台加固剖面图 (mm)

Figure 3 Sectional view of CT-1 cushion cap

在各组内力作用下, 计算各基桩承担的竖向力, 验算结果均满足要求。

承台的抗冲切验算, 斜截面抗剪验算均满足 GB50007-2011《建筑地基基础设计规范》要求。

### 3.3 施工参数与细节设计

#### (1) 压桩力估算

锚杆静压桩的的压桩力, 按公式 (5) 估算。

$$R_p(L) = K_p \times R_a \quad (5)$$

式中:  $R_p(L)$  为最终压桩力;  $L$  为桩入土深度;  $K_p$  为压桩力系数, 桩长小于 20 m, 取 1.5~2;  $R_a$  为单桩竖向承载力特征值。

本工程压桩力:

$$R_p = (1.5 \sim 2) \times 390 = 585 \sim 780 \text{ kN,}$$

预估压桩力 700 kN 左右。

#### (2) 锚杆设计

锚杆采用  $\Phi 30$ , HRB335 钢, 单根锚杆轴向拉力设计值:

$$N = f_y A_p / \lambda \quad (7)$$

式中:  $A_s$  为锚杆的截面面积;  $f_y$  为锚杆钢筋抗拉强度设计值;  $\lambda$  为受力不均匀系数, 取 1.2;

计算得:

$$N = 300 \times 30 \times 30 \times 3.14 / 4 / 1.2 = 176625 \text{ N} = 176.6 \text{ kN}$$

锚杆根数:

$$n = R_p / N = 800 / 176.6 = 4.53 \text{ (根)}$$

每根桩按 6 根锚杆布置。CT-1 承台锚杆布置平面如图 4 所示:

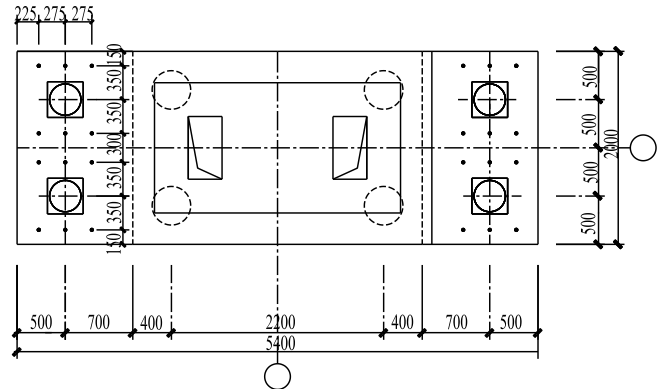


图 4 锚杆布置平面图 (mm)

Figure 4 Layout plan of bolt

#### (3) 新旧承台混凝土连接设计

新旧承台必须连接成一个整体, 除在使用阶段共同将上部结构荷载传给桩外, 还要在施工阶段共同承担通过锚杆传来的压桩上拔力, 其连接设计如下:

a) 在原承台基础的外表面做钢筋混凝土围套, 利用围套的混凝土在凝固时收缩而把原有基础套紧箍实。

b) 为了加强新老混凝土的结合, 除将旧承台基础表面凿毛外, 还在旧承台表面钻孔植筋, 旧承台的顶面侧面各布置两排植筋, 钢筋  $\Phi 20 \text{ mm}$ , HRB335 钢, @400 mm, 长度 200 mm, 植入旧承台深度 100 mm。

c) 基础围套配筋, 采用两排竖向钢筋, 分别为  $\Phi 16 \text{ mm}$ , HRB335 钢, @300 mm, 竖向钢筋的上端沿着柱的围套布置, 下端一排沿着基础围套布置, 一排钻孔植筋, 伸入旧承台 250 mm。箍筋采用  $\Phi 8 \text{ mm}$ , HPB300 钢, @150 mm。

d) 增大基础面积采用新加基础钢筋与原基础

底板钢筋相焊接的方法,新加承台基础钢筋直径和间距与原承台基础底板相同, $\Phi 20$  mm, HRB335 钢, @150 mm, 双面焊, 钢筋的焊接长度不少于 100 mm (5 倍钢筋直径)。

加固承台 (CT-1) 配筋图见图 5。

## 4 施工要点

### 4.1 施工工序

结合现场施工条件,本工程的主要施工工序如下:

(1) 加固承台基础: 在旧承台基础的加长段挖土至垫层底, 浇筑素混凝土垫层, 凿毛原承台基础混凝土表面, 形成凹凸不平的接触面, 用水洗净, 植连接筋, 焊接底板受力钢筋, 刷界面结合剂, 浇筑混凝土。

(2) 预留压桩孔: 在浇筑加固承台基础混凝土的同时, 预留压桩孔, 桩孔上口  $370$  mm $\times$  $370$  mm, 下口  $420$  mm $\times$  $420$  mm。

(3) 预埋锚杆: 采用爪式螺栓, 在每个预留压桩孔的四周埋设 6 根 M30 锚杆, 埋入承台混凝土内 600 mm, 外露 200 mm, 与压桩孔边的距离不小于 150 mm。

(4) 压桩: 压桩反力架通过锚杆固定在承台基础上, 配备 100 t、150 t 油压千斤顶和配套使用的液压油泵, 压桩时将桩徐徐压入土中。加强监测, 控制压桩速率, 同时压桩时应避免集中局部施工,

防止基础上抬。施压时, 压桩架要保持垂直, 桩体垂直度偏差 $<0.5\%$ , 千斤顶与桩体轴线保持在同一垂直线上, 压桩过程中, 桩身垂直度若发生偏斜, 用木塞在桩孔壁与桩体间隙填塞纠正。

(5) 接桩: 采用坡口熔透焊接法接桩, 焊接时, 清除钢材表面铁锈, 确保满焊, 电流强度应符合规范, 保证焊接质量。接桩时, 上下节间隙不大于 2 mm, 并用厚 (薄) 铁板填实、填平后焊牢。焊接后, 自然冷却 2 min, 继续沉桩。

(6) 封桩: 桩顶周边焊接锚固筋, 清理压桩孔, 排除积水, 在钢管内灌注混凝土; 浇捣 C35 掺有微膨胀和早强外加剂的桩孔桩帽混凝土。

### 4.2 压桩中几个问题的处理

(1) 压桩力过高, 桩底不到位。本工程压桩终止条件设计采用双控标准: 压桩力和桩底标高, 在压桩过程中, 当桩入土深度超过 13 m, 压桩力开始大幅增加, 压至桩底标高压桩力甚至超过 1000 kN。

主要原因: 随着压桩深度的不断增加, 桩端进入粉土粉砂层, 桩端下土体被迫向下挤压产生排水固结, 导致粉土粉砂密实度和桩端摩阻力愈来愈大, 桩管中的土塞逐渐密实。当管内土塞达到一定高度时, 管内壁摩阻力急剧增加, 管桩底部固结为实心桩, 有效桩端截面积、桩端阻力、侧摩阻力增加; 同时挤土过程中产生的超孔隙水压力使粉砂土颗粒向外挤压, 使远处粉砂孔隙密实起来, 在桩周围产生拱效应使桩端承载力激增, 使压桩力不断增大。

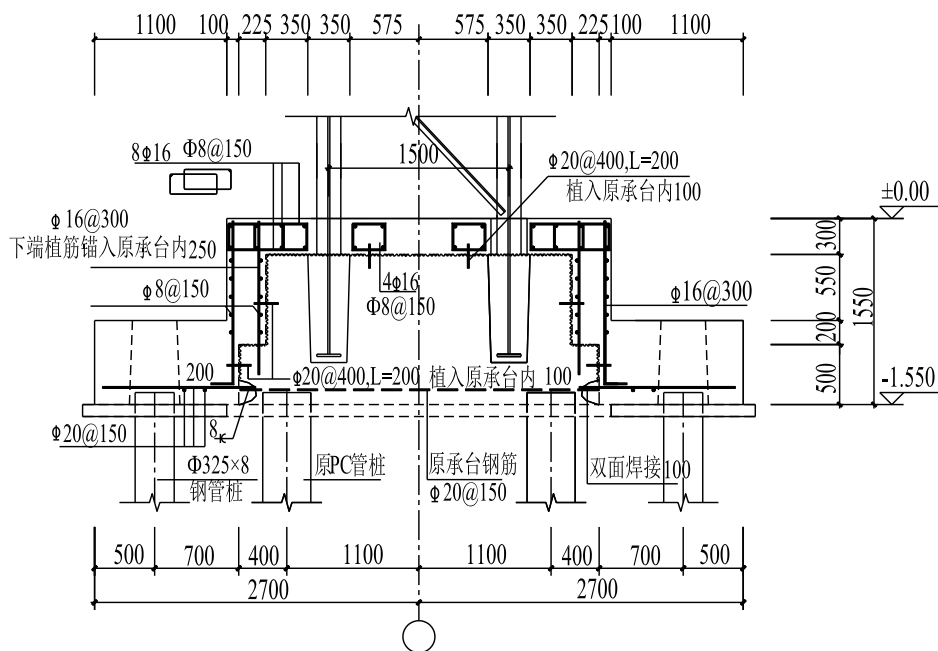


图 5 加固承台配筋图 (mm)

Figure 5 Drawing of reinforced cushion cap

压桩力过大,压桩设备、锚杆、承台都有可能出现问題,后采取引孔措施,引孔深度8~12 m效果也不理想。后来对压桩终止条件进行了调整,在压桩力达到800 kN和桩底标高进入持力层不少于0.5 m后,作割桩处理。实际割桩数量约为总桩数的1/3,割桩长度0.3~1.8 m。

(2)钢管桩接头多,焊接时间长,质量难控制。压桩过程中每根桩至少5个接头,因本工程土层以粉土粉砂为主,焊接时间过长会增加压桩难度。为此采用坡口熔透焊接法接桩,这样焊接时间短,且容易保证满焊,为加强钢管桩的连接质量,在每一接头的外侧加焊3块宽30 mm、长80 mm、厚10 mm的加劲板。

(3)预留压桩孔数量多,洞口尺寸上大下小,留孔困难。为此采用工具式定型模板,既保证留孔尺寸准确,又可重复使用,方便了施工。

## 5 效果检验

(1)施工过程中,对钢管桩焊缝接头质量进行了超声波探测抽检,钢管桩对接焊缝质量等级均能达到二级标准。

(2)压桩结束后,采用快速维持荷载法,对29、35、100、60、138、149号桩进行了抗压静载试桩,对35、57、151号桩进行了抗拔静载试桩,抗压及抗拔承载力均大于设计要求。

(3)对加固范围内的柱基及相邻跨的柱基设置沉降观测点70个,从压桩开始至竣工交付使用后1个月,进行了17次沉降观测,沉降已稳定。加固范围内柱基的最大沉降量为4.99 mm,最小沉降

量为2.73 mm,相邻跨柱基的最大沉降量为2.01 mm,最小沉降量为0.15 mm。沉降观测结果表明:锚杆静压桩施工对原结构的影响甚小,加固效果良好。

## 6 结 语

(1)本工程选用与原设计桩长相同,桩径相近的开口钢管桩,采用锚杆静压法对原桩基进行加固,具有承载力高,穿透性好,重量轻,长度调整方便,焊接接头可靠,挤土效应小等优点,既保证了相邻车间的正常生产,又保证了加固施工的顺利进行,设计合理,方法得当。

(2)采用锚杆静压开口钢管桩施工,由于部分土体挤入管内,减小了挤土效应和贯入阻力,但在贯入粉土、粉砂层至一定深度后,在土塞效应和拱效应的共同作用下实际压桩力会不断增加,远超压桩力预估值,因此,锚杆静压设备的选用及锚杆的抗拉力均必须留有一定的余地。

(3)新旧承台基础混凝土之间的连接质量,是保证压桩正常施工的关键,设计时应考虑采取凿毛、开沟凿槽,钻孔植筋等一系列技术措施使其形成整体,共同工作。

### 参考文献:

- [1] YBJ227-91 锚杆静压桩技术规程 [S]. 北京:冶金工业出版社,1991.
- [2] JGJ94-2008 建筑桩基技术规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [3] 李国胜. 建筑结构裂缝及加层加固疑难问题的处理—附实例[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2006.