

# PHC 管桩基础在廊坊地区的应用

崔爱明<sup>1</sup>, 刘海良<sup>1</sup>, 熊伟<sup>2</sup>

(1. 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 河北 廊坊 065000; 2. 河北省地矿局第三地质大队, 河北 张家口 075000)

**摘要:** 华为廊坊生产基地一期工程厂房采用了 PHC 管桩基础, 这是 PHC 管桩在廊坊地区的首次应用。简要介绍了该工程 PHC 管桩的施工方法、PHC 管桩基础的特点以及桩基检测结果。实践证明, PHC 管桩基础在廊坊地区不失为地基处理的一种好方法。

**关键词:** PHC 管桩; 静压法; 桩基检测; 廊坊地区

**中图分类号:** TU473.1<sup>+</sup>3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2012)05-0065-03

**Application of PHC Pipe Pile Foundation in Langfang Area/CUI Ai-ming<sup>1</sup>, LIU Hai-liang<sup>1</sup>, XIONG Wei<sup>2</sup>** (1. The Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, CAGS, Langfang Hebei 065000, China; 2. No. 3 Geological Brigade, Hebei Bureau of Geology and Mineral Exploration, Zhangjiakou Hebei 075000, China)

**Abstract:** PHC pipe pile foundation was used in the first phase project of Huawei production base in Langfang, which was the first application in Langfang area. The paper briefly introduced the PHC pipe pile foundation about its construction method, the characteristics and the testing result. The practice shows that PHC pipe pile foundation can yet be regarded as a good method for foundation treatment in Langfang area.

**Key words:** PHC pipe pile; static pressure method; pile foundation test; Langfang area

## 0 引言

PHC 管桩为预应力高强度混凝土管桩的简称, 是采用先张预应力离心成型工艺, 并经过 1.0 MPa、180 ℃ 左右的蒸汽养护, 制成一种空心圆筒型混凝土预制构件, 标准节长为 10 ~ 15 m, 直径为 300 ~ 1000 mm, 混凝土强度等级 ≥ C80<sup>[1]</sup>。它以其桩身强度高、质量稳定、造价低、单桩承载力高、应用范围广、施工速度快、对环境污染小等鲜明特点, 在我国一些地区发展迅速。目前我国沿海一带的滨海地段, 设计单位将 PHC 管桩基础作为建筑物的首选桩基础之一, 具有丰富的设计、施工经验, 在这些地区得到广泛应用。

廊坊市区属永定河流域冲积平原, 现有建筑物地基处理大多为 CFG 桩复合地基<sup>[2,3]</sup>, 单纯采用 PHC 管桩基础为数不多, 其主要是对该类桩型设计较少、或是认识不够。近几年, PHC 管桩基础陆续在一些建筑物使用, 如华为廊坊生产基地一期工程、华元和庭小区(5 栋高层住宅楼)、廊坊龙都冷库等均采用了 PHC 管桩基础。现将华为廊坊生产基地一期工程 PHC 管桩基础使用状况加以介绍, 希望对 PHC 管桩在廊坊地区的推广应用提供参考和借鉴。

## 1 工程概况

华为廊坊生产基地一期工程位于河北廊坊市经济技术开发区, 工程的 3 个厂房结构相同, 南北长 204 m, 东西跨度 138 m, 柱与柱的间距为 12.0 m (见图 1)。从建筑物的结构特性可看出要求地基变形小, 天然地基承载力及地基沉降变形量达不到设计要求, 因此选用了 PHC 管桩基础, 每个厂房设计了 2415 根 PHC400 型管桩和 315 根 PHC500 型管桩, 有效桩长为 20 m 左右, PHC 管桩桩端位于该工程地质勘察中的第⑧层细砂中, PHC400、PHC500 型管桩单桩竖向承载力特征值分别为 850、1150 kN。

### 1.1 工程地质特征

华为廊坊生产基地一期工程区, 属永定河流域冲积平原, 浅地层属第四系全新统沉积, 沉积物主要来源于永定河流域泛滥沉积。由于河流多次泛滥, 故沉积物层次繁多, 大都呈薄层、交互层和透镜体状。地层岩性在 30 m 范围内以粘性土、粉土与细砂类土为主, 其天然地基的承载力及沉降变形不能满足设计要求, 应进行地基处理。

该工程地质勘察, 在场地揭露深度范围内, 依据地层成因及土质特征, 将地基土自上而下分层为: ①

收稿日期: 2012-01-02; 修回日期: 2012-03-02

作者简介: 崔爱明(1968-), 男(汉族), 江苏如东人, 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所工程师, 工程检测专业, 从事建筑工程质量检测、软土地基处理和监测工作, 河北省廊坊市金光道 84 号, cuiaimin@igge.cn。

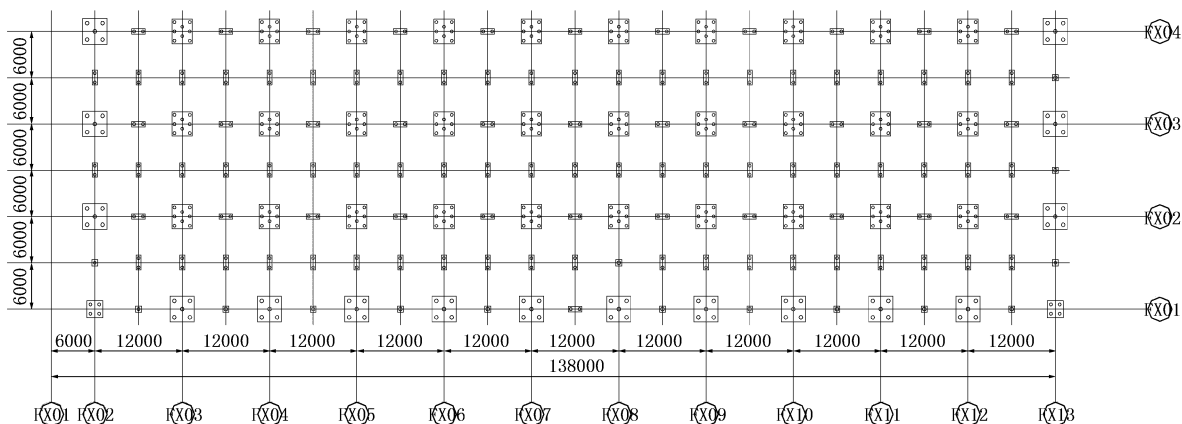


图1 华为廊坊生产基地一期工程厂房PHC管桩布桩局部示意图

粉土,承载力 110 kPa;②粘土,承载力 100 kPa;③粉土,承载力 110 kPa;④粉土,承载力 150 kPa;⑤粉质粘土,承载力 100 kPa;⑥<sub>1</sub> 粉土夹粉砂,承载力 160 kPa;⑥<sub>2</sub> 粉质粘土,承载力 120 kPa;⑦粉土与粉质粘土互层,承载力 160 kPa;⑦<sub>1</sub> 粉细砂,承载力 200 kPa;⑧细砂,承载力 260 kPa。

## 1.2 水文地质条件

该区水位埋深比较浅,一般在 6~7 m,地下水和地基土呈弱碱性,在干湿交替环境条件下浅层地下水对混凝土不具腐蚀性,对混凝土中的钢筋无腐蚀性,对钢结构有弱腐蚀性;地基土对混凝土和混凝土中的钢筋不具有腐蚀性。

## 2 PHC 管桩施工

### 2.1 施工方法的选择

此次 PHC 管桩施工主要采用静压沉桩法,该方法是利用大吨位 (ZY450 型,4500 kN) 压桩机<sup>[4]</sup>,用压桩机的自重和桩架上的配重作反力将 PHC 管桩压至设计的土层中。在沉桩过程中其震动及噪声小,减少了对周边单位和居民的生活环境污染。压桩时均匀的加载,无冲击和反射应力波,应力小且易控制,送桩压力可直观、安全、准确地读出并自动记录下来,因而对桩承载力控制及判断精确度高,保证了桩身质量,沉桩长度可直接进行监测,人为干扰因素少,杜绝了弄虚作假。

### 2.2 施工次序

在 PHC 管桩施工过程中,将 PHC 管桩插入土体时对土体存在挤密作用,随着施工的进行,土体内部应力作用将会出现土体隆起和侧向位移现象,假使施工时从四周向中间施工,受土体内部应力影响,出现部分桩无法送至设计深度,随着土体内部应力的逐渐消散,这部分桩将有可能达不到设计要求,因此应根

据场地情况预先考虑施工时土体内部应力的消散方向,进而安排好 PHC 管桩施工次序。此次施工是测量放线后先进行试桩(为选定的工程桩)施工,等试桩检测结果出来会同沉桩时的压力参数交由桩基设计单位核验调整后再进行工程桩施工。桩施工单位根据技术规程设计施工方案,确定由中心向四周逐步施工,以减少因施工造成土体应力对送桩的影响。

### 2.3 施工特点

(1)PHC 管桩的施工受季节影响较少,因为管桩是预先生产好的,运至工地后即可施工,其成桩速度快,一台静压机一天可施工 50 根 20 m 左右长的 PHC400 型管桩,和其它桩型相比其施工速度较快。

(2)PHC 管桩由于是预先制备好的,在桩基施工结束后不存在桩的混凝土龄期,只要满足休止期(15 天)就可以进行承载力检测。

(3)由于 PHC 管桩的自身特点,相对缩短了桩基础的施工工期,为整个建筑工程缩短工期奠定了基础。

## 3 PHC 管桩桩基检测

PHC 管桩施工结束后应进行桩基质量检测,包括单桩承载力检测和桩身完整性检测<sup>[5]</sup>。按《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106-2003)<sup>[6]</sup>要求,单桩静载荷试验检测数量应不小于施工桩总数的 1%,且每单体结构不得少于 3 根;桩身结构完整性检测,一般工程应不少于施工桩总数的 20%。

单桩承载力检测为单桩静载荷试验,采用堆载慢速加载试验法,将总荷载分级加到单桩上,同时观测分级荷载作用下的桩体沉降量,绘制静载荷荷载-沉降( $Q-s$ )曲线、沉降-时间对数( $s-\lg t$ )曲线,按《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106-2003)确定单桩承载力特征值。

桩身完整性检测是将被测桩体看作为一维弹性杆件(当桩身长度远大于桩身直径时),且将桩与桩间土视为一个线性振动系统。当在被检测桩桩顶击发一瞬时冲击力后,便有应力波传播至桩身波阻抗变化界面处(如桩身截面、介质密度变化)将产生应力波的反射和透射,反射波沿桩身反向传播到桩顶,而透射波继续向下传播至桩底,在桩底处又产生反射波传播到桩顶。经安装在桩顶的传感器接受反射波信号,并由基桩检测仪进行放大滤波等处理,得到检测的时域波形。依据应力波在桩体中传播的波形特征,来判定被检桩的桩身完整性、缺陷性质、缺陷位置和程度。

本文仅介绍 3 号厂房的 PHC 管桩桩基检测情

况。

3.1 静载荷试验

此次单桩静载荷试验使用方形压板,加载试验使用 JCQ503 型全自动静载荷测试系统,自动加荷、观测沉降。试验最大加荷值为 1800 kN(PHC400 管桩)、2300 kN(PHC500 管桩),共分 10 级施加,第一次加 2 级荷载,当 1 h 内桩顶沉降量 <0.1 mm,连续出现 2 次时即可加下一级荷载。

3 号厂房正式施工前,施工了 29 根管桩试桩(PHC400 型 23 根、PHC500 型 6 根),均进行了静载试验;工程桩施工结束后,抽检了 20 根管桩(PHC400 型 13 根、PHC500 型 7 根),试桩与工程桩静载荷试验结果见表 1。

表 1 试桩与工程桩静载荷试验结果

| 类型  | PHC400 型管桩          |      |             | PHC500 型管桩          |      |             |
|-----|---------------------|------|-------------|---------------------|------|-------------|
|     | 1800 kN 荷载下最终沉降量/mm |      | 单桩承载力特征值/kN | 2300 kN 荷载下最终沉降量/mm |      | 单桩承载力特征值/kN |
|     | 范围值                 | 平均值  |             | 范围值                 | 平均值  |             |
| 试桩  | 3.29 ~ 10.59        | 5.76 | ≤900        | 4.97 ~ 7.26         | 6.28 | ≤1150       |
| 工程桩 | 3.07 ~ 6.20         | 4.51 | ≤900        | 4.32 ~ 6.25         | 5.17 | ≤1150       |

由表 1 数据可见:(1)最大荷载下沉降变形量较小,且均匀,从沉降变形角度看,满足了上部结构设计的要求;(2)试桩及工程桩静载试验单桩承载力特征值取值相同,但最终沉降变形量有所区别,这反映出施工的实际状况,试桩的沉降变形量稍大一点,整个施工结束后,由于整体地基效应,沉降量变形量稍小一点,单桩承载力应有所增加,只是工程桩静载试验未加荷至极限值。

3.2 桩身完整性检测

3 号厂房抽检了 557 根管桩,为施工桩数的 20.4%,其中 I 类完整桩 543 根,占检测桩数的 97.49%;II 类桩 14 根(浅部缺陷 2 根、焊接不良 12 根),占检测桩数的 2.51%。PHC 管桩的检测波速范围为 4135 ~ 4485 m/s,平均值为 4376 m/s。

浅部缺陷为截桩时造成,进行剔除处理即可。焊接不良为桩施工时焊缝不连续、不饱满、焊肉中夹有焊渣等造成,低应变反射波在接桩有轻微反映(见图 2),判断桩体接桩部位焊接不好或是压送桩时造

成接桩处部分开裂,最后判定其不影响竖向承载力。

纵观 3 号厂房的施工、检测结果,施工质量较好,顺利通过了质监部门验收。

4 结语

(1)华为廊坊生产基地一期工程 PHC 管桩基础是廊坊市区的首个 PHC 管桩基础,其桩基础承载力高、沉降变形小,满足了大跨度厂房的结构要求,施工工程质量得到质监部门的肯定。同时其承载力高、沉降变形小、施工工期短、对周围环境污染小等特点得到同行们的认可。在此之后市区相继有华元和庭小区和龙都冷库选用了 PHC 管桩基础,同时市区外围的胜芳前进钢厂及新利钢厂的炼钢厂房、香河的经纬家具城和珠江御景小区也选择了 PHC 管桩基础。

(2)PHC 管桩基础适用于素填土、杂填土、淤泥质土、粉土、粘性土、稍密及中密的砂土等且无腐蚀性、微腐蚀性、弱腐蚀性的场地。对于中腐蚀性的场地使用 PHC 管桩基础,应进行专门防腐性设计。

(3)PHC 管桩基础施工前应进行试桩试验,将试桩施工的送桩压力参数和静载试验的单桩承载力取值交给 PHC 管桩基础设计单位进行核算,核算调整后方可进行工程桩施工。

(4)PHC 管桩基础正式施工前应根据工程场地

(下转第 70 页)

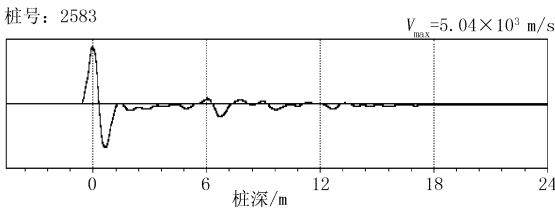


图 2 接触不良桩低应变检测曲线图

表2 浆液性能指标的结果和因素分析

| 序号           | A<br>(SH)      | B<br>(PAM-3) | 失水量<br>/mL | 泥皮<br>厚度<br>/mm                                                                  | 粘附系数 | 流动度 | 漏斗<br>粘度<br>/s |
|--------------|----------------|--------------|------------|----------------------------------------------------------------------------------|------|-----|----------------|
| 1            | 1              | 1            | 11.0       | 0.2                                                                              | 无法测得 | 230 | 39             |
| 2            | 1              | 2            | 9.8        | 0.2                                                                              | 无法测得 | 210 | 85             |
| 3            | 1              | 3            | 8.0        | 0.2                                                                              | 无法测得 | 185 | 320            |
| 4            | 2              | 1            | 8.2        | 0.2                                                                              | 无法测得 | 195 | 60             |
| 5            | 2              | 2            | 7.5        | 0.2                                                                              | 无法测得 | 175 | 139            |
| 6            | 2              | 3            | 7.2        | 0.2                                                                              | 无法测得 | 165 | 560            |
| 7            | 3              | 1            | 9.2        | 0.2                                                                              | 无法测得 | 200 | 82             |
| 8            | 3              | 2            | 6.4        | 0.2                                                                              | 无法测得 | 170 | 183            |
| 9            | 3              | 3            | 6.0        | 0.2                                                                              | 无法测得 | 140 | >600           |
| 失水量<br>极差分析  | K <sub>1</sub> | 9.60         | 9.13       | 组分 A 影响最大, 掺量越大越好;<br>组分 B 影响较大, 掺量取大值合适;<br>最佳组合: A <sub>3</sub> B <sub>3</sub> |      |     |                |
|              | K <sub>2</sub> | 7.87         | 8.47       |                                                                                  |      |     |                |
|              | K <sub>3</sub> | 7.20         | 7.07       |                                                                                  |      |     |                |
|              | R              | 2.40         | 2.07       |                                                                                  |      |     |                |
| 泥皮厚度<br>极差分析 | K <sub>1</sub> | 0.20         | 0.20       | 组分 A 和组分 B 对泥皮厚度几乎<br>没有影响;<br>最佳组合: 随意组合                                        |      |     |                |
|              | K <sub>2</sub> | 0.20         | 0.20       |                                                                                  |      |     |                |
|              | K <sub>3</sub> | 0.20         | 0.20       |                                                                                  |      |     |                |
|              | R              | 0.00         | 0.00       |                                                                                  |      |     |                |
| 粘附系数<br>极差分析 | K <sub>1</sub> | 0.00         | 0.00       | 组分 A 和组分 B 对粘附系数几乎<br>没有影响;<br>最佳组合: 随意组合                                        |      |     |                |
|              | K <sub>2</sub> | 0.00         | 0.00       |                                                                                  |      |     |                |
|              | K <sub>3</sub> | 0.00         | 0.00       |                                                                                  |      |     |                |
|              | R              | 0.00         | 0.00       |                                                                                  |      |     |                |
| 流动度<br>极差分析  | K <sub>1</sub> | 208.33       | 208.33     | 组分 A 影响较大, 掺量取小值合适;<br>组分 B 影响最大, 掺量越小越好;<br>最佳组合: B <sub>1</sub> A <sub>1</sub> |      |     |                |
|              | K <sub>2</sub> | 178.33       | 185.00     |                                                                                  |      |     |                |
|              | K <sub>3</sub> | 170.00       | 163.33     |                                                                                  |      |     |                |
|              | R              | 38.33        | 45.00      |                                                                                  |      |     |                |
| 漏斗粘度<br>极差分析 | K <sub>1</sub> | 148.00       | 60.33      | 组分 A 影响较大, 掺量取小值合适;<br>组分 B 影响最大, 掺量越小越好;<br>最佳组合: B <sub>1</sub> A <sub>1</sub> |      |     |                |
|              | K <sub>2</sub> | 253.00       | 135.67     |                                                                                  |      |     |                |
|              | K <sub>3</sub> | 288.33       | 493.33     |                                                                                  |      |     |                |
|              | R              | 140.33       | 433.00     |                                                                                  |      |     |                |

合是 B<sub>1</sub>A<sub>1</sub>, 综合考虑失水量和漏斗粘度, 确定所研究浆液各组分参考掺量推荐值为: 植物胶为 A<sub>2</sub>(2%), PAM-3 为 B<sub>2</sub>(0.6%)。

最优化配方为: 2% SH 植物胶 + 3% NaOH + 0.6% PAM-3。其各项性能: 漏斗粘度 139 s; 失水

量 7.5 mL; 泥皮厚度 0.2 mm; 流动度 175 mm; 粘附系数  $n$  无法测得, 接近为 0。

### 3 结论

本文从满足实际工程需要出发, 从润滑减阻护壁性能方面进行了理论分析, 重点通过室内试验对无粘土浆液进行了试验性研究及性能评价, 确定了长距离管道顶管用浆液的最优配方。

本文的主要成果如下:

(1) 无粘土浆液具有良好的紊流减阻、润滑减阻和护壁的特性, 这些特性为复杂地层顶管工作的顺利进行提供了有力的保障;

(2) PAM-3 对浆液具有增粘、降低浆液失水量和提高浆液润滑性的综合效果;

(3) 通过室内试验分析确定了无粘土浆液的最优配方, 它的最优配方为: 2% SH 植物胶 + 3% NaOH + 0.6% PAM-3;

(4) 浆液配方及性能是在室内试验基础上得出的, 在现场应用时, 应根据不同环境和条件予以修正。

### 参考文献:

- [1] 周亨达. 工程流体力学[M]. 北京: 北京钢铁学院出版社, 1980.
- [2] G. W. 戈威尔, K. 阿济兹, 权中舆, 等. 复杂混合物在管道中的流动(上册)[M]. 北京: 机械工业出版社, 1983.
- [3] 郑洽徐, 鲁钟琪, 等. 流体力学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1980.
- [4] Anagnostou, G., Kovari, K. Face stability in slurry and EPB shield tunneling[J]. Tunnels and Tunneling, 1996, 28(12): 27-29.
- [5] 孙涛. 新型植物胶冲洗液的开发与应用[D]. 四川成都: 成都理工大学, 2004.
- [6] 牛文林, 陈礼仪. 植物胶无粘土浆液的流变性研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2006, 33(1): 44-46.
- [7] 魏纲, 徐日庆, 等. 顶管施工中注浆减摩作用机理的研究[J]. 岩土力学, 2004, (6): 930-931.

(上接第 67 页)

实际情况, 选定送桩设备, 制定具体施工方案, 按既定的施工次序进行施工, 以免对周边环境产生破坏。市区施工大多选定静压送桩, 该方法施工过程中振动及噪声小, 对周边生活环境污染小。

(5) 静压送桩是均匀的加载, 无冲击和反射应力波, 应力小且易控制, 可安全、准确地将桩送至设计位置, 保证了桩身质量。故此静压送桩的桩基础, 桩身完整性检测出的缺陷很少, 一般为轻微缺陷(出现在接桩的焊接部位)。

(6) 在廊坊市区选用 PHC(400、500 型) 管桩基础, 采用静压法送桩是可行的, 对周边环境污染小,

其施工质量能得到有效控制, 已为一些案例证实, 因此 PHC 管桩基础也不失为市区地基处理的一种新的可行的基础处理方案。

### 参考文献:

- [1] GB 13476-2009, 先张法预应力混凝土管桩[S].
- [2] 周红军. CFG 桩复合地基在河北廊坊地区的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(6): 55-57.
- [3] 王德强, 王行军, 宫进忠. 廊坊市规划区饱和砂土液化的危害及防治措施[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(4): 62-64.
- [4] DGJ 32/TJ 109-2010, 预应力混凝土管桩基础技术规程[S].
- [5] GB 50202-2002, 建筑地基基础工程施工质量验收规范[S].
- [6] JGJ 106-2003, 建筑基桩检测技术规范[S].
- [7] JGJ 94-2008, 建筑桩基技术规范[S].