

# Static Load Test and Analysis on the Pile Up-Floating Problem of the Zhanjiang Steel Coke Oven Project

Tao Zhang

Baosteel Zhanjiang Iron & Steel Co. Ltd, Zhanjiang Guangdong  
Email: bgzt@baosteel.com

Received: Nov. 30<sup>th</sup>, 2015; accepted: Dec. 18<sup>th</sup>, 2015; published: Dec. 22<sup>nd</sup>, 2015

Copyright © 2015 by author and Hans Publishers Inc.  
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

Aimed at the pile up-floating problem of the driven PHC piles of the Zhanjiang Steel coke oven project, a conventional vertical static load test indicates that the load capacity is insufficient. Then further test methods, such as post soil failure successive load tests, single pile static load tests, post re-driving static load tests, are taken, and the pile up-floating phenomena, reason and treatment measures are studied.

## Keywords

Soft Soil, PHC Pile, Pile Up-Floating, Test

---

# 湛江钢铁焦炉桩基上浮问题静载试验和分析

张 涛

宝钢湛江钢铁有限公司, 广东 湛江  
Email: bgzt@baosteel.com

收稿日期: 2015年11月30日; 录用日期: 2015年12月18日; 发布日期: 2015年12月22日

---

## 摘 要

针对湛江钢铁焦炉项目打入PHC桩施工中出现的桩基上浮问题, 在采用常规的竖向静荷载试验发现承载

力不足之后,再采取土体破坏后继续加载试验、独桩静荷载试验和复压后静荷载试验等方法,研究软土地基桩基上浮现象、原因和处理措施。

## 关键词

软土,管桩,桩基上浮,试验

## 1. 引言

湛江钢铁炼焦工程位于广东湛江东海岛,工程场地跨越海漫滩~海积平原及剥蚀台地两种地貌单元。炼焦工程 1A 焦炉属剥蚀台地地貌,原始地面标高 10~23 m 左右,属挖方区,最大挖方高度约 14 m; 1B 焦炉位于海积平原地貌,原始地面标高 2.5 m 左右,属填方区,最高填方厚度约 6.5 m。场地整平后地面平坦,标高在 8.43 m~9.20 m 之间。1A 焦炉地下 40 m 范围内主要由较软弱的湛江组粘土层和 3~4 层厚度 2 m~5 m 密实的含粘性土中粗砂土层组成; 1B 焦炉上部为稍密素填土、中部有海相淤泥、下部与 1A 焦炉相似。

综合考虑工程造价、工期、现场环境等因素,湛江钢铁项目对荷重较大或沉降要求严格的建筑物基础采用 PHC 桩。焦炉基础承受的荷载较大,采用桩顶送入地表下约 4.5 m,长度 34 m 的 III dPHC600-AB-130 桩[1]。东西方向布置数百根桩,桩轴心间距 3 m; 南北方向布置数十根桩,桩轴心间距 2.7 m。经初步估算,单桩竖向承载力特征值 3600 kN,桩身结构强度竖向抗压承载力设计值 4800 kN。

## 2. 初次竖向静荷载试验

### 2.1. 竖向静荷载试验

利用工程桩在 1A 焦炉基础区域内进行三组 PHC 单桩竖向静荷载试验[2],确定其抗压承载力。每组 1 套试验桩,6 套辅助桩,每组共计 7 套工程桩。

经研究分析现场所检测的 159#、190#、200#单桩竖向抗压静载试验均加载至 4320 kN 时桩顶总沉降量为 94.60 mm、89.78 mm、150.40 mm, Q~S 曲线出现陡降,最后一级荷载的沉降量大于上一级荷载沉降量的 5 倍,且荷载不能稳定,则终止加载,取前一级加载值 3600 kN 为该批桩极限承载力,159#、190#卸载完毕时残余沉降量分别为 88.49 mm、87.31 mm。159#桩 Q~S (荷载~沉降)曲线如图 1 所示。

### 2.2. 其他检测结果

通过对 159#、190#、200#试桩静试验数据研究分析,该批桩的承载力特征值为 1800 kN,是设计预先要求值的一半,并且静载试验的 Q~S 曲线形态非常相似,说明该批桩的承载力不满足设计要求。用其他检测方法检查桩身是否存在缺陷:

#### 1) 低应变检测桩身完整性

对 159#、190#、200 三根试桩在静载试验前及静载试验后,低应变检测全部为 I 类桩,桩身结构完整性完好,均未发现桩身质量缺陷。

#### 2) 高应变检测桩身完整性及单桩承载力

对三根试桩进行高应变检测,其中在做高应变检测时 159#、190#桩位被占,不具备检测条件,用附近相同桩型的 169#和 231#桩代替。高应变检测结果表明:169#、200#、231#三根桩全部为 I 类桩,桩身结构完好,但其对应的承载力分别为 4654 kN、3506 kN、3900 kN,均未达到设计要求。

#### 3) 内壁摄像检测桩身完整性

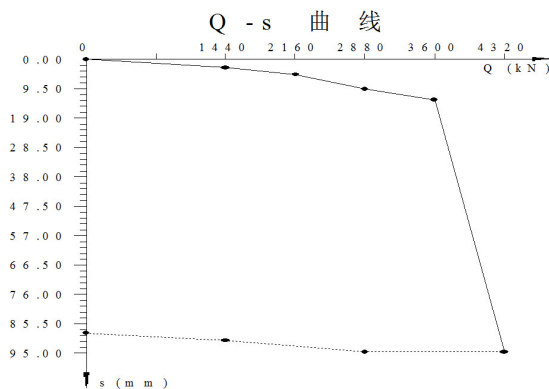


Figure 1. Q-S relationship of pile 159#  
图 1. 159#桩 Q~S 关系曲线

采用内壁摄像对三根桩进行内窥检测，其中 159#桩检查深度 30 m，内壁完好，接头质量较好，在桩顶以下 23.6 m 左右处出现环向裂纹，存在一处轻微不利缺陷；190#桩检查深度 6 m，桩洞被堵，无法内窥；200#桩检查深度 23 m，内壁完好，接头质量较好，无缺陷。

内壁摄像检测结果表明，159#、190#、200#三根桩没有被发现存在影响桩身结构承载力的不利缺陷。

### 3. 补充桩基试验

通过静载试验、低应变、高应变、内壁摄像检测及场地地质情况等综合因素分析，发现上述三根桩桩身结构都是完整的，但是单桩承载力均不满足设计要求。考虑到该区域桩可能存在上浮导致单桩承载力不足，因此再制定三套桩基检测方案研究该区域桩是否存在上浮现象。

#### 3.1. 土体破坏后继续加载试验

在相同的区域内选择两根工程桩 128#桩和 129#桩做土体破坏后继续加载试验，即桩在试验检测时出现第一次陡降后继续加载，观察静载曲线的型态。

129#单桩竖向抗压静载试验加载至 5040 kN 时，桩顶总沉降量为 73.12 mm，Q~S 曲线出现第一个明显陡降点，本级荷载的沉降量大于上一级荷载沉降量的 5 倍。继续加载至 9600 kN 时，桩顶总沉降量为 211.98 mm，Q~S 曲线出现第二个明显陡降点，最本级荷载的沉降量大于上一级荷载沉降量的 5 倍，且荷载不能稳定，则终止加载。

128#单桩竖向抗压静载试验加载至 5040 kN 时，桩顶总沉降量为 58.46 mm，Q~S 曲线出现第一个明显陡降点，本级荷载的沉降量大于上一级荷载沉降量的 5 倍。继续加载至 9600 kN 时，桩顶总沉降量为 287.35 mm，Q~S 曲线出现第二个明显陡降点，最本级荷载的沉降量大于上一级荷载沉降量的 5 倍，且荷载不能稳定，则终止加载。128#相对应 Q~S 曲线图如图 2 所示。

#### 3.2. 独桩竖向静荷载试验

在相邻区域 1B 焦炉基础打入一根工程桩 400#桩，周围未打其他工程桩，检测其承载力是否满足设计要求。经研究分析现场所检测的 400#单桩竖向抗压静载试验，当加载至最大加载量 7200 kN 时，桩顶总沉降量为 43.87 mm，Q~S 曲线相对平滑，未出现明显的拐点和曲折。则该桩极限承载力  $Q_u \geq 7200$  kN。其测试的承载力满足设计要求。相对应 Q~S 曲线图如图 3 所示。

#### 3.3. 复压后竖向静荷载试验

将 1A 焦炉基础已经沉桩完成的工程桩进行复压，在其中挑选 183#、184#两根做静载试验，休止 14

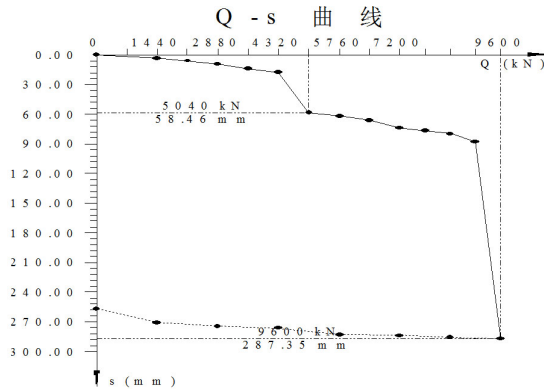


Figure 2. Q-S relationship of pile 128#  
图 2. 128#桩 Q~S 关系曲线

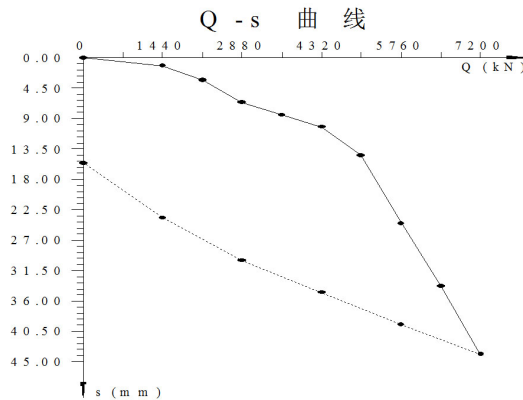


Figure 3. Q-S relationship of pile 400#  
图 3. 400#桩 Q~S 关系曲线

天后检测其承载力是否满足设计要求。

由于 1A 焦炉基础复打比较困难，所以桩的复位采用复压法[3]。该方法必须将土体开挖至基础标高进行，复压设备采用 800 吨静压桩机，配置 7200 kN 荷载，因设计对桩的差异沉降要求极为严格，按桩身强度为 C80 混凝土计算桩身承载力极限值大于 6000 kN，所以设计给出的复压静载试验最大的加载值为 6800 kN。

经研究分析现场所检测的 183#、184#单桩竖向抗压静载试验，当加载至最大加载量 6800 kN 时桩顶总沉降量分别为 30.40 mm、28.89 mm，卸载完毕时残余沉降量分别为 16.41 mm、12.19 mm，Q~S 曲线均相对平滑，未出现明显的拐点和曲折。则该桩极限承载力  $Q_u \geq 6800$  kN。其测试的承载力满足设计要求。184#桩相对应 Q~S 曲线图如图 4 所示。

## 4. 桩的上浮现象及工程处理

### 4.1. 桩的上浮现象分析

因工程桩的顶端送入地表下约 4.5 m，打桩过程中不易发现桩的上浮现象。

通过上述静载试验分析，在相同区域的 128#、129#做静载试验的桩，当加载至 5040 kN 时，分别出现第一次陡降，沉降量达到 58 mm、73 mm，按照方案的要求继续加载，当加载至 9600 kN 时，分别出现了第二次陡降，沉降量达到 287 mm、211 mm，该沉降量对应的荷载值不满足设计要求，且两次陡降

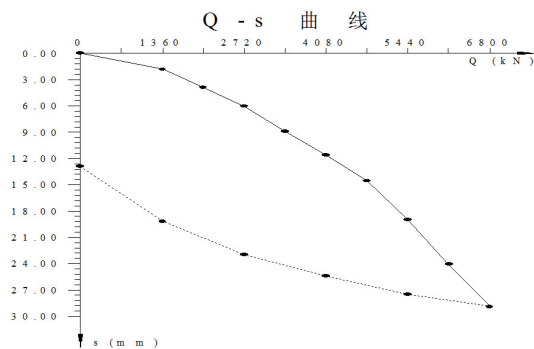


Figure 4. Q-S relationship of pile 184#  
图 4. 184#桩 Q~S 关系曲线

段的沉降量之和分别为 150 mm、140 mm。在相邻 1B 焦炉基础工程桩与 1A 焦炉基础复压后的工程桩，分别加载至 7200 kN、6800 kN 时，其沉降量对应的承载力均满足设计要求。由于 1A 焦炉基础工程桩在复压过程中，其复压的沉降量大致在 130 mm~390 mm 之间，与该区域 128#、129# 两根桩静载试验的两次陡降段的沉降量相同，说明该区域桩的确存在上浮现象。

经研究分析，可能引起该区域工程桩存在一定量的上浮现象的原因有以下 2 点：

1) 高密度布桩有可能使桩上浮。炼焦工程 1A、1B 焦炉基础工程桩均选择的是  $3.0 \times 2.7$  m 的格网布置，每台打桩机每天平均施工 5 套工程桩，该场地地层以饱和、高塑性、强结构性粘土为主，渗透系数为  $10^{-7}$  cm/s，渗透性较差，根据类似场地打桩引起超孔隙水压力的理论研究和实测结果[1]，会发生超孔隙水压力积累，在地基土有回弹或有回弹趋势下，易导致桩的上浮。

2) 地应力的变化有可能使桩上浮。炼焦工程 1A 焦炉为挖方区，最大挖方高度 14 m，平均 10 m 以上。前阶段压力的解除，土体产生回弹，由于该区域粘土有湛江组粘土的性质，塑性指数、液限比较高，局部塑性指数高达 26%、液限高达 56%，且后期回弹稳定，即形成新的应力平衡会持续较长时间。

事实上，软土地区密集打入混凝土桩而导致上浮问题在 80 年代初宝钢一期工程中曾出现过[4]。2000 年后 PHC 桩得到大量使用，密集打入桩基上浮问题发生得更多[5]-[7]。湛江钢铁新型焦炉因荷载比较大、桩基布置比较密集，2014 年初在打桩施工过程也发现桩基上浮问题。

#### 4.2. 上浮桩的工程处理

在以上试验基础上，并经专家会议讨论决定：对存在上浮的 384 套桩全部采用 800 t 的静力压桩机进行复压处理，同时将压桩机的配重增加至 680 t，控制最大压力不大于 600 t 并控制压桩速度，辅以过程监测。结果最大压下去 284 mm，最小压下去 79 mm。

复压结束后，随机抽取 3 根桩做静载试压，全部达到设计承载力要求。

### 5. 结论

渗透性较差的软土地密集打入混凝土预制桩，会发生超孔隙水压力积累，在地基土有回弹或有回弹趋势下，易导致桩的上浮。

控制打桩进度或减少打桩挤土量，可以减小超孔隙水压力积累，减小桩的上浮。

试验也验证了复压或复打是处理桩基上浮问题的可靠方法。

### 参考文献 (References)

- [1] 宝钢湛江钢铁工程指挥部. 宝钢广东湛江钢铁基地项目通用图集——先张法预应力混凝土管桩(试行版) [S]. 湛

---

江: 宝钢湛江钢铁工程指挥部, 2010.

- [2] 中国建筑科学研究院. JGJ 94-2008. 建筑桩基技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [3] 广东省建筑设计研究院. DBJ/T 15-22-2008. 锤击式预应力混凝土管桩基础技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [4] 王怀忠. 宝钢工程长桩理论与实践[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2010: 24-31.
- [5] 马时冬. 关于预应力高强度混凝土管桩的桩体上浮问题[J]. 工业建筑, 2003, 33(3): 78-80.
- [6] 张忠苗, 辛公锋, 俞洪良, 熊文. 软土地基管桩挤土浮桩与处理方法研究[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(5): 549-552.
- [7] 熊海丰, 裘涛, 周晓悦. 深厚软土地基预应力管桩浮桩加固方法探讨[J]. 建筑结构, 2010, 40(S2): 583-586.