

# 深基坑开挖工程 PHC 桩的保护及边坡稳定性分析

李治文<sup>1,2</sup>, 殷 琨<sup>2</sup>

(1. 上海海洋地质勘察设计有限公司, 上海 200092; 2. 吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026)

**摘要:** 基坑工程主要包括基坑支护体系设计与施工和土方开挖, 是一项综合性很强的系统工程。由于各地区的地质条件不同, 因此基坑工程具有很强的区域性和很强的个性。本工程用 PHC 桩代替常用的钢管桩大大地节省了投资, 边坡的稳定性也得到了很好的保护。

**关键词:** 基坑工程; PHC 桩; 边坡稳定

**中图分类号:** TU473.2    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1672-7428(2008)10-0039-03

**Protection on PHC Pile and Analysis on Stability of Side Slope in Deep Excavation Engineering/LI Zhi-wen<sup>1,2</sup>, YIN Kun<sup>2</sup>** (1. Shanghai Ocean Geology Investigate Design Co., Ltd, Shanghai 200092, China; 2. College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun Jilin 130026, China)

**Abstract:** Excavation engineering mainly includes design and construction of excavation support system and soil excavation etc. It is comprehensive system engineering. Because of different geological conditions in different areas, excavation engineering has very strong regional and individual characters. Investment is largely reduced and stability of side slope is protected by using PHC pile instead of using steel-pipe pile in the project introduced in this paper.

**Key words:** excavation engineering; PHC pile; stability of side slope

## 1 工程及地质概况

### 1.1 工程概况

上海某厂房基坑工程位于纬三路南侧, 周围原有建筑物和各种管线繁多, 原始地形为农田、村庄, 并分布有纵横交错的沟、浜、塘等。设计地基基础为高强预应力砼管桩(即 PHC 桩), 基坑开挖深度大部分为 -12.7 m, 局部达 -14 m, 基础底板砼厚度 1.6~1.9 m 不等。基础底部分布 503 套 Ø600 mm 的 PHC 桩, 桩顶标高分为 -10.0、-11.0、-11.3、-12.5、-13.8 m 五种形式, 桩长有 51.9、52.9 和 53.9 m 三种。由于基坑开挖面积大, 周边工况较为复杂, 施工难度很大。

### 1.2 地质概况

根据岩土工程勘察报告, 深基坑各土层有关参数如表 1 所示。从表 1 可以看出, 土层多为松软土层, 各土层的抗剪强度均比较低, 其中①<sub>1</sub> 层结构松散, 自稳能力差, 易坍塌; ③<sub>1</sub>、③<sub>3</sub> 层为流塑状态, 强度低, 含水量高且不易排水。而基坑底正座落于③<sub>2-2</sub>、④层之间, 呈饱和、流塑状态, 灵敏度高, 易受振动, 故易产生涌土现象。

## 2 施工方案的选择

按上海市标准《基坑工程设计规程》(DBJ 08-61-97) 规定, 开挖深度 ≥ 10m, 属于一级基坑, 而

表 1 土层性状

土层编号	土层名称	土层描述	层厚 /m	重度 $\gamma$ /( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	直剪(固快)(峰值)	
					$\varphi/(\circ)$	$c/\text{kPa}$
① <sub>1</sub>	杂填土	杂色, 主要由碎石、砖块、粘性土等组成, 呈湿~饱和, 松散~稍密状态, 厚度为 1.1~2.4 m	2.8	20		
②	粉质粘土	黄褐色, 可塑~软塑状态, 土中含氧化铁斑点及锰铁结核	0.8	18.6	20.0	20.0
③ <sub>1</sub> 、③ <sub>3</sub>	淤泥质粉质粘土	灰色, 夹薄层粉土, 呈饱和, 流塑状态	0.9、3.5	17.6	22.0	12.0
③ <sub>2-1</sub>	粘质粉土	灰色, 夹薄层淤泥质粉质粘土, 呈饱和、松散~稍密	0.6	18.5	29.0	11.0
③ <sub>2-2</sub>	砂质粉土	灰~青灰色, 夹薄层淤泥质粉质粘土, 呈饱和、松散~稍密	2.4	18.6	29.0	13.0
④	淤泥质粘土	灰色, 含少量贝壳碎片, 层底富集成薄层状, 呈饱和、流塑状态	11.6	17.1	15.0	11.0
⑤	粉质粘土	褐灰~灰色, 含少量腐植物及钙质结核, 局部段夹薄层粉土, 呈湿~饱和, 可塑~软塑状态	29.4	17.7	24.0	14.0

收稿日期: 2008-06-16

作者简介: 李治文(1976-), 男(汉族), 山西人, 上海海洋地质勘察设计有限公司工程师, 吉林大学硕士在读, 地质工程专业, 从事岩土工程勘察、设计及施工工作, 吉林省长春市西民主大街 6 号, jldmaxin2003@163.com。

该工程基础开挖深度分别为-10.2、-11.2、-12.7 m以及局部的-14 m,达到一级基坑的标准,施工方案的分析选择必须经过反复验算,慎重考虑。在决定采用无支护大开挖的总体方案前提下,必须根据工程地质情况,选择合理降水方案,从而提高土的固结能力,达到理想的抗剪强度,在降低土的含水率的前提下,考虑安全的边坡设计。

## 2.1 降水方案的选择

经过仔细研究,结合我国目前现有的降水设备状况,本工程决定采用两级井点和分层明沟排水相结合的方式降水。

一级井点采用轻型井点降水工艺,井点埋设从-0.5 m标高至-7 m标高,井点管间距为1.2 m,主要用来降低-7~-6 m以上土层的水;二级井点

采用喷射井点与轻型井点间隔埋设的方法,喷射井点管间距为3.6 m,在-5 m处下井点管至-20 m处,主要用来降低-16~-18 m以上范围土层的含水率。在两喷射井点间埋设轻型井点,用来降除一、二级井点降水的盲区,确保地下水位在基坑下0.5 m范围以外。

## 2.2 边坡坡度的计算分析

### 2.2.1 边坡坡度的确定

合理的边坡坡度也是确保基坑稳定的关键,边坡太陡,边坡的稳定安全系数低,导致基坑失稳;边坡过缓,会加大土方开挖及回填的工作量,扩大土方开挖的工作面,既不经济,场地亦不允许。因此根据该深基坑的具体地质条件,决定分3个台阶进行放坡(见图1)。

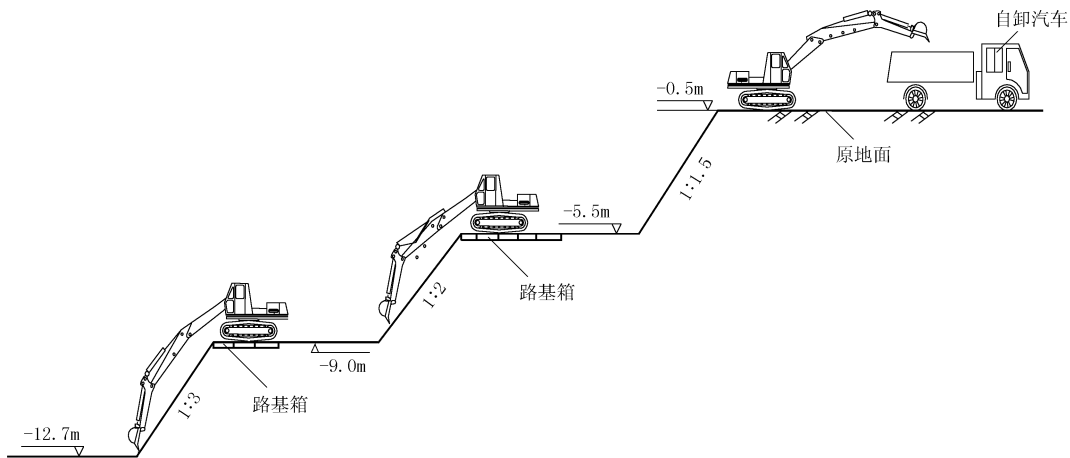


图1 基坑开挖纵断面

一级边坡以1:1.5坡度从现有场地-0.5 m至-5.5 m处,在-5.5 m处留设3.5 m宽台阶;二级边坡以1:2的坡度放至-9.0 m处设4 m宽台阶;三级边坡以1:3坡度放至基坑底部-12.7 m处。

### 2.2.2 边坡稳定安全系数验算

根据深基坑的地质条件,使用圆弧法对边坡稳定系数进行了计算,计算步骤如下。

(1)按比例绘出边坡的截面图。

根据1:3放坡,坡角 $18^\circ$ ,可查出坡底角 $\alpha_1 = 25^\circ$ ,坡顶角 $\beta = 35^\circ$ ,由此可求出第一次试算的滑动圆心 $O_1$ ,从图上量出滑动半径为 $R = 28.747$  m。

(2)将边坡分为若干条,取条宽 $b = R/20 = 1.4$  m,编号为负的条,表示其方向的切向力反向。

(3)量出各条的中心高度 $h$ 和弧长 $L$ 。

(4)计算安全系数 $K$

$$K = (\gamma b \tan \varphi \sum_{i=1}^n h_i \cos \alpha_i + cl) / (\gamma b \sum_{i=1}^n h_i \sin \alpha_i)$$

$$= (17.8 \times 1.4 \times \tan 16.53^\circ \times 377.053 + 10.36 \times 61.517) / (17.8 \times 1.4 \times 93.809) = 1.47 > 1.1$$

因此可以得出结论,边坡是稳定的。

## 3 边坡稳定及PHC桩位移分析

### 3.1 降水对PHC桩位移的影响

本地区地下水位高,土壤天然含水量大,从地质资料上看,第二层粉质粘土含水量在31.6%~36.3%,第三层淤泥质粉质粘土含水量在50.5%~63.5%,降水过程仅将基坑范围内的土壤中的自由水和部分毛细水抽走,但由于基坑降水面积大,降水效果不十分明显。基坑全面降水仅为10天就开始挖土,土的强度增加不明显,在施工过程中出现以下情况:(1)由于基坑开挖,地基中水位较高部分的水向基坑流动,从而带动土壤流动,使土壤中的PHC桩随之位移;(2)抽水时间短,由于土的渗透性较差,基坑内土中的自由水尚未全部抽走,从挖土现场

看,虽然表面上基坑内无积水,但挖土的土质稀软,有的土体在挖斗中呈流淌状态,尤其是四级挖土机履带底部的路基箱基本上是“浮起”的。最明显的是在距地表以下 8 m 左右,导致基坑内外主动土压力与被动土压力失衡,基坑隆起,边坡滑移,滑移面上的 PHC 桩随之倾斜,桩顶产生位移。

### 3.2 土方开挖对桩位移的影响

#### 3.2.1 开挖深度的影响

基坑开挖共设 32 个位移监测点(监测点总数),用来监测基坑边坡范围内 PHC 桩位移。项目组利用先进的检测技术,对深部位移进行了监测,PHC 桩位移情况见表 2。

表 2 PHC 桩位移监测值

基坑深 /m	范围区	监测桩数量/根		
		总根数	累计位移值 >300 mm	100 mm < 累计位 移值 <300 mm
-12.5	边坡区	18	6	12
-11.1	边坡区	10	4	6
-10.1	边坡区	4	0	3

从表 2 中可以看出:挖土深度为 -10.1 m 时,边坡范围内位移值 >300 mm 的占 0%,100 mm < 位移值 <300 mm 的占 9.4% ( $3/32 = 9.4\%$ );挖土深度在 -11.1 m 时,位移值 >300 mm 的占 12.5% ( $4/32 = 12.5\%$ ),100 mm < 位移值 <300 mm 的占 18.75% ( $6/32 = 18.75\%$ );而挖土深度在 -12.5 m 时,位移值 >300 mm 的占 18.75% ( $6/32 = 18.75\%$ ),100 mm < 位移值 <300 mm 的占 37.5% ( $12/32 = 37.5\%$ )。可以看出,随着开挖深度增加,位移也在增加。

#### 3.2.2 土质的影响

当基坑土方被挖走后,土体失去平衡,加之第三层淤泥质粉质粘土土质较差、含水量大、容易产生蠕变,位移大并带动上部土层产生位移,PHC 桩身的上部随土体的移动而产生位移,其下部由于受深层土的约束而不产生位移,从而造成桩身弯曲。具体表现在桩基向基坑内倾斜。

## 4 PHC 桩的保护成果分析

基坑土方开挖结束后,为了验证 PHC 桩的有效性对基坑内 PHC 桩按比例进行了小应变检测。

小应变检测结果:基础共设置 PHC 桩 503 套,测试 151 套(取总量的 30%),其中属 I 类桩 135 套,占 89.4%,II 类桩(局部有缺陷的)16 根,占 151 套的 10.6%,无 III 类桩。其周边区域(如基础拉梁桩、南北向管廊基础桩等)PHC 桩共 392 套,测试 104 套,其中 I 类桩 89 套,占 85.6%,II 类桩 15 根,占 14.4%,无 III 类桩。

虽然基础施工过程中 PHC 桩位移累计值最大为 470 mm,大部分桩位移量均超过 100 mm。但从检测结果看,所有检测的桩都基本完整,不存在 III 类和 IV 类桩。

## 5 结论

(1)对于大量采用 PHC 桩的深基坑,边坡的设计不仅要考虑工程本身的安全,而且需考虑基坑底部及边坡上 PHC 桩可能的位移。经过该工程的实施,证明 PHC 桩在软土地基基础施工中,不但可以取代价格昂贵的钢管桩,自身的安全也能通过有效的保护方法得到保证。

(2)施工过程应加强信息化监测,及时掌握土体及桩的变化情况,变形观测的周期应随工程进度及时调整,技术人员要密切注意观测结果,采取及时可行的措施。

(3)通过本次施工的监测数据分析,PHC 桩顶位移最大达到了 470 mm,大部分都超过了 100 mm,就本项目而言,PHC 桩顶位移报警值从原 100 mm 可以扩大到 200 mm。这对该地区以及类似地区的基础桩选用和桩的有效性检测都有一定的推广和借鉴作用。

## 参考文献:

- [1] 龚晓南. 深基坑工程设计施工手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1998.
- [2] 编写委员会. 桩基工程手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1995.
- [3] 卢肇钧. 锚定式支护工程实践中几个问题的探讨[A]. 陈善蕴. 卢肇钧院士科技论文选集[C]. 北京:中国建筑工业出版社,1994.
- [4] 张土桥,等. 基坑单支撑拱形围护结构性状分析[J]. 岩土工程学报,2001,(1):15-18.
- [5] 徐伟. 大型深基坑施工方案的设计优化[J]. 建筑技术,1996,(8):522-525.

2009 年报刊征订工作现已开始,敬请本刊广大读者尽快到当地邮局订  
阅,本刊邮发代号 2-333,每期定价 10 元,全年 12 期 120 元。