

文章编号: 1000-7598-(2006)12-2246-04

打桩引起的基坑开挖问题及处理

焦志斌, 王剑平, 李景林

(南京水利科学研究院, 南京 210024)

摘 要: 通过某电厂桩基处理工程实例, 介绍了打桩引起的预制桩偏位及开挖问题。在不加外荷载情况下, 采用塑料排水板方法消散打桩引起的超静孔隙水压力的处理措施, 解决了高孔隙水压力下主厂房的开挖问题。分析了塑料排水板消散孔隙水压力的影响因素。观测结果及工程实践表明, 塑料排水板处理桩基工程快速经济, 可不需加载, 但处理效果与水平排水系统有关。

关 键 词: 桩基处理; 超静孔隙水压力; 预制桩; 塑料排水板; 开挖

中图分类号: TU 413

文献标识码: A

Excavation problems induced by pile driving and their treatment

JIAO Zhi-bin, WANG Jian-ping, LI Jing-lin

(Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024, China)

Abstract: The deflection of precast piles and excavation problems induced by pile driving are introduced through an engineering case of pile foundation treatment of a power plant. The treatment and effectiveness by use of prefabricated drains method to dissipate the excess pore pressure by pile driving are also introduced under the condition without external loads. The excavation problems of the main power house under high pore pressure is solved; and factors related with prefabricated drains to dissipate pore pressure are analyzed. The observed results and engineering practice show that the pile foundation treatment by use of prefabricated drains is fast and economic; and it employs no external loads, however, the treatment effectiveness relates with the horizontal drainage system.

Key words: pile foundation treatment; excess pore pressure; precast pile; prefabricated drains; excavation

1 前 言

预制混凝土方桩属挤土桩, 在软土地基中, 如果施工工艺不合理, 打桩速率过快, 产生的挤土效应将会影响周围的土体, 导致土体和桩体隆起及侧向移动。打桩引起的土体超静孔隙水压力消散过程非常复杂, 初期消散速率迅速, 但后期缓慢。研究表明^[1], 打桩后群桩中心 10 m 处 2 个月后孔隙水压力才消散 50%。打桩后的土体开挖方式与土体孔隙水压力消散程度密切相关, 若处理不当, 将会加速土体和桩体的隆起与侧移。随着土体超静孔隙水压力的消散, 土体重新固结, 桩体和上部结构将会产生附加沉降, 影响结构物的使用和安全。

塑料排水板自 1981 年在我国成功使用以来, 广泛应用于我国的港口码头、电厂、公路及工民建软基加固, 并于 1997 年形成了行业规程^[2], 一

般在真空预压和堆载预压中起竖向排水作用。

本工程首次采用塑料排水板处理打桩后基坑开挖过程中产生的预制桩抬升及侧移问题, 取得了满意的工程效果, 并指出影响塑料排水板作用效果的主要因素为打入深度和水平排水系统, 为塑料排水板的应用增加了新的领域, 对类似工程有积极的参考价值。

2 工程及地质概况

某电厂一期工程兴建 2×300 MW 发电机组。工程场地地貌属长江河漫滩相, 地形平坦, 原始地面标高 8.0~10.0 m。场区内有人工开挖形成的沟塘, 深度一般在 2.5 m 左右。场地地下水为孔隙型潜水, 地下水位高程约为 7.4 m。地基土基本物理力学指标见表 1, 典型剖面见图 1。

收稿日期: 2005-03-38

作者简介: 焦志斌, 男, 1970 年生, 工程师, 在职硕士生, 主要从事地基处理和水运工程的监测等研究工作。E-mail: zbjaio@nhri.cn

表 1 土层基本物理力学指标

Table 1 Physico-mechanical parameters of soil samples

土层编号	土层名称	w /%	γ /kN·m ⁻³	E	I_p /%	I_L	f_k /kPa
③	黏土	33.0	18.5	1.00	18.0	0.40	120
③-1	黏土	42.0	18.0	1.10	17.6	0.80	100
④	淤泥质土	45.0	17.5	1.10	11.7	1.30	80
④-2	粉质黏土	38.0	18.3	—	—	0.91	100
⑤	粉质黏土	42.1	18.1	0.79	—	0.53	—
⑤-2	粉质黏土	30.5	18.5	0.85	11.6	0.60	—
⑥-1	粉土夹细砂	30.5	19.0	0.82	8.5	—	130
⑥-2	细砂	—	19.0	—	—	—	180
⑦	砾卵石	—	20.0	—	—	—	300
⑨	粉砂质泥岩	25.0	20.5	0.65	15.2	—	400

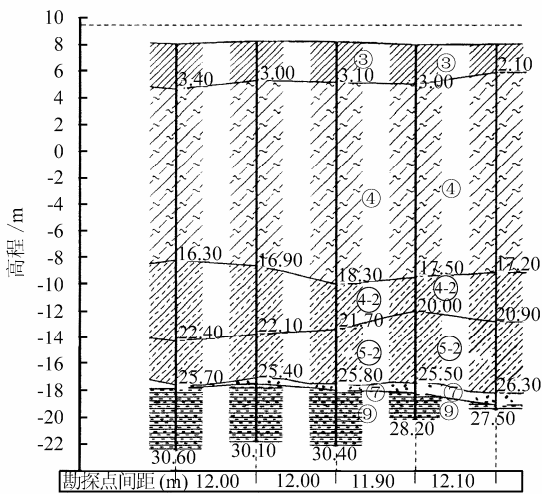


图 1 典型断面剖面图

Fig.1 Typical cross-section

工程主厂房平面布置见图 2。主厂房桩基础采用预制钢筋混凝土方桩，总计 1 900 余根。预制桩采用锤击法施工，桩截面尺寸 500 mm×500 mm，桩长 27 m 左右，分 2 节，中间焊接，桩间距 1.8~2.2 m，地面高程约 10.0 m(黄海高程，下同)，桩顶标高约 4.8 m，桩端持力层为⑨层强风化泥岩。强风化泥岩上部主要土层为淤泥质土。淤泥质土呈流塑~软塑状，高压缩性，中灵敏度。

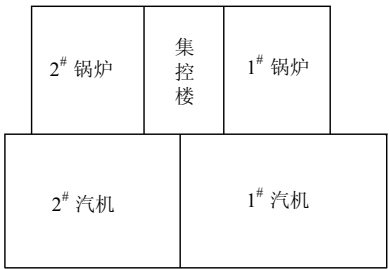


图 2 主厂房平面布置

Fig.2 Arrangement of the main power house

主厂房 1[#] 汽机基础桩尚余 80 余根时，局部基础进行了开挖，开挖后形成了约 5.0 m 深的基坑，开挖后发现：基坑内预制桩出现明显的偏位和抬升，偏移 50~190 cm，抬升 20~50 cm，基坑开挖面上也出现明显的土体隆起现象。开挖部分预制桩偏位情况见图 3。低应变检测结果表明，已开挖的 300 余根预制桩中，近 80 %为Ⅲ类和Ⅳ类桩，不同程度地存在脱焊和断桩现象，该区域预制桩已基本丧失承载力。剩余的预制桩施工及其他区域开挖暂停。

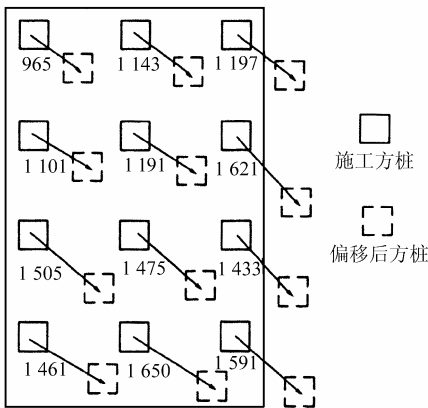


图 3 已开挖区域部分预制桩偏位情况

Fig.3 Deflection of precast pile in excavated areas

3 工程原因及地基处理措施

现场初步监测结果表明，预制桩施工速率过快使得地基土层中产生了较高的超静孔隙水压力，超静孔隙水压力未得到有效消散的情况下开挖是主厂房预制桩出现偏位和抬升的根本原因。

消散地基土层超静孔隙水压力的方法很多，本工程曾采用井点降水、袋装砂井等措施。由于受到淤泥质土缩孔影响，处理深度只有 6~8 m，上部土体(浅部)的部分超静孔隙水压力得到一定消散，深部土体未有明显消散。

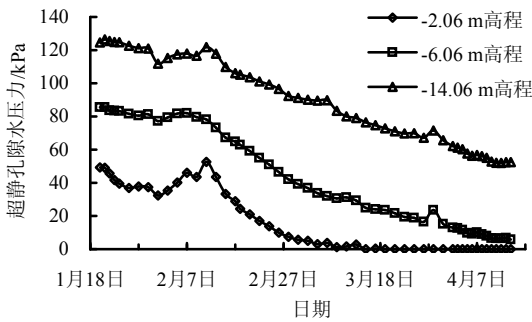
基坑开挖是地基处理的焦点和难点。根据地质报告及工程状况，地基处理采用塑料排水板方案^[3,4]。插板深度约 20 m，基本穿透④层软土，间距 1 m×1 m，满布^[5]，板间设置 300 mm(宽)×200 mm(深)的排水盲沟，沟内填中粗砂，分区设集水井^[4]。

塑料排水板施工 20 d，施工结束后 20 d 提供了开挖报告，由于天气原因 7 d 后开挖。

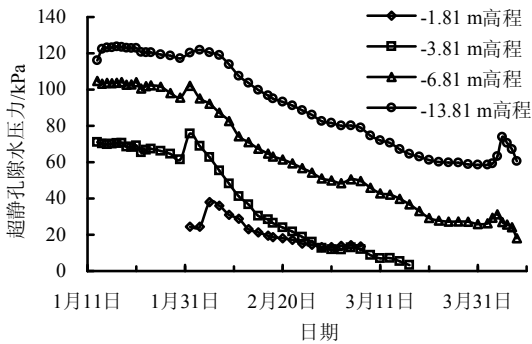
4 桩基处理观测结果分析

桩基处理过程中土体超静孔隙水压力结果见图 4。由于工程前期没有进行观测，图 4 中的初始

值为打桩后 1~3 个月的超静孔隙水压力实测值。



(a) 1# 汽机 P2 测点



(b) 2# 锅炉 P12 测点

图 4 典型测点超静孔隙水压力-时间过程线
Fig.4 Variations of excess pore pressure with time

排水板施工前观测结果表明, 预制桩施工 1~3 个月后, 场地土层超静孔隙水压力仍很高, 最大值为 100~140 kPa, 主要分布在软土层④-2 和⑤层土, 承台内外超静孔隙水压力相差不大, 各区域孔隙水压力观测结果见表 2。

表 2 排水板施工前土层最大超静孔隙水压力 $u_{\max}$ 分布
Table 2 Distribution of excess pore water pressure before installation of prefabricated drains

区域	$u_{\max}$ /kPa	分布土层	分布高程/m
1# 汽机	125~130	④-2、⑤	-12~-14
2# 汽机	125~140	④-2、⑤	-13~-14
1# 锅炉	100~130	④-2	-11~-13
集控楼	114	④-2	-11
2# 锅炉	105~125	④-2、⑤	-11~-14

排水板施工对地基土层超静孔隙水压力有一定影响, 排水板施工引起地基土层超静孔隙水压力消散速率很快, 约为 1~3 d。开挖前超静孔隙水压力消散情况见表 3。表中, v_u 为最大超静孔隙水压力消散速率, 消散速率比为排水板施工前与施工后最大超静孔隙水压力消散速率的比值。

表 3 开挖前场地超静孔隙水压力消散情况
Table 3 Dissipation of excess pore pressure before excavation

区域	排水板施工前 v_u /kPa·d ⁻¹	排水板施工后 v_u /kPa·d ⁻¹	消散速率比
1# 汽机	0.20	1.26	6.30
2# 汽机	0.36	1.52	4.22
1# 锅炉	0.50	2.43	4.86
集控楼	0.35	1.99	5.69
2# 锅炉	0.42	2.03	4.83

由表 3 可见: (1) 排水板施工前, 场地超静孔隙水压力消散缓慢, 消散速率为 0.20~0.50 kPa/d, 平均为 0.33 kPa/d, 最快为 1# 锅炉区域 (只进行了部分预制桩施工); (2) 排水板施工后, 场地超静孔隙水压力消散速率明显加快, 消散速率为 1.26~2.43 kPa/d, 平均为 1.85 kPa/d, 是排水板施工前的 4.22~6.30 倍 (平均为 5.61 倍); (3) 超静孔隙水压力消散速率沿深度变化不大, 浅部略大于深部; (4) 1#, 2# 汽机超静孔隙水压力消散速率相比其他区域较小, 主要是由于两区域部分地区在桩基处理时曾多次开挖和回填, 扰动土体结构, 排水板施工结束后盲沟开挖不及时, 局部区域无法开挖盲沟。

开挖阶段是土体卸荷阶段, 地基土层超静孔隙水压力明显减小, 消散速度明显加快, 但也是地基土层应力释放过程, 易造成土层失稳及基坑边坡失稳, 施工中按照开挖方案, 分层分区域开挖, 严格控制开挖速率^[4], 后续开挖的预制桩大部分满足设计要求。

5 影响因素分析

孔隙水压力消散的影响因素较多, 对于本工程, 主要为塑料排水板的打设区域和深度以及水平排水系统的设置。

(1) 塑料排水板布置区域。本工程中, 预制桩沿承台布置, 打桩引起的超静孔隙水压力分布在承台内外区域基本相同, 故在排水板设计时亦由原来的按承台布置变更为满布, 加速了整个土体孔隙水压力的消散速率。但对于预制桩施工前的塑料排水板设置, 按承台布置即可^[4]。

(2) 塑料排水板设计深度。研究表明^[5], 打桩引起的超静孔隙水压力沿深度直线增加。图 4 表明, 在排水板打设深度内, 地基各软土层中超静孔隙水压力的消散速率相差不大, 浅部略大于深部, 故排水板的打设深度尽可能穿透软土层, 本工程中排水板深度已达 21 m。

(3) 水平排水设置。由于当地缺少中粗砂, 本工程塑料排水板施工前未铺设砂垫层, 只在板间设置了排水盲沟, 沟内填中粗砂, 分区设集水井。现场监测结果表明, 各测点孔隙水压力的消散速率与水平排水的设置直接关系: 在 1[#] 汽机区域, 由于前期基坑开挖和桩基处理, 表层土体受到多次扰动, 难以形成设计的盲沟, 本区域土体孔隙水压力消散速度最慢; 2[#] 汽机局部区域在排水板打设后未及时开挖盲沟, 导致该区域土体孔隙水压力消散速度明显小于 2[#] 汽机其他区域; 1[#] 锅炉、2[#] 锅炉和集控楼区域盲沟施工情况良好, 地基土层孔隙水压力消散速度最快。

6 结 语

(1) 预制方桩施工产生的土体超静孔隙水压力较大, 短时间内难以消散, 塑料排水板方法可快速有效地消散地基土体中的高孔隙水压力, 可不需加载, 处理措施简洁经济。

(2) 深厚饱和软粘土中预制桩施工引起的超静孔隙水压力可通过打设塑料排水板消散, 塑料排水板的处理效果与布置区域、打设深度及水平排水系

统有关, 水平排水系统的影响机理有待于进一步研究。

(3) 深厚饱和软粘土中预制桩施工前可根据工程情况打设塑料排水板, 有效消散打桩引起的超静孔隙水压力, 保证预制桩顺利施工。

参 考 文 献

- [1] 胡中雄. 土力学与环境土工学[M]. 上海: 同济大学出版社, 1997.
 - [2] CTAG02-97, 塑料排水带地基设计规程[S].
 - [3] 地基处理手册编写委员会. 地基处理手册 (第二版) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.
 - [4] 焦志斌, 李景林, 吴春勇. 池州电厂一期工程地基处理监测报告 (土 0062) [R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2004.
 - [5] 徐永福, 傅德明. 结构性软土中打桩引起的超孔隙水压力[J]. 岩土力学, 2000, 21(1): 53-55.
- XU Yong-fu, FU De-ming. Excess pore pressure induced in piling in saturated structural soft soils[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2000, 21(1): 53-55.
-
- 上接第 2245 页
- Research Board, 1996. 106-118.
 - [15] Chan R K S. Hong Kong slope safety management system [A]. **Proceedings of the Symposium on Slope Hazards and Their Prevention**[C]. Hong Kong: Hory Kong University, 2000. 1-16.
 - [16] Brand E W, Premchitt J, Phillipson H B. Relationship between rainfall and landslides in Hong Kong[A]. **Proceedings of the 4th International Symposium on Landslides**[C]. Toronto, Canada: BiTech Publishers, Vancouver, 1984. 377-384.
 - [17] Lam C C, Leung Y K. Extreme rainfall statistics and design rainfall problems[R]. Hong Kong: Technical Note No. 86, Royal Observatory Hong Kong, 1994.
 - [18] Cheung R W M, Tang W H. Reliability of deteriorating slopes[J]. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, 2005, 131(5): 589-597.
 - [19] Wong H N, Ho K K S, Chan Y C. Assessment of consequence of landslides[A]. **Proceedings of the International Workshop on Landslide Risk Assessment**[C]. Honolulu, Hawaii, USA: Balkema, Rotterdam Netherlands, 1997. 111-149.
 - [20] Wong C K L. The new priority classification systems for slopes and retaining walls[R]. [s. l.]: GEO Report No. 68, Geotechnical Engineering, 1997.
 - [21] GEO. Guidelines for classification of consequence-to-life category for slope features[R]. GEO Technical Guidance Note No. 15 (TGN 15), Hong Kong: Geotechnical Engineering Office, 1996.
 - [22] Fell R, Hartford D. Landslide risk management[A]. **Proceedings of the International Workshop on Landslide Risk Assessment**[C]. Honolulu, Hawaii, USA: Balkema, Rotterdam Netherlands, 1997. 51-109.
 - [23] ERM-Hong Kong. Landslides and boulder falls from natural terrain: interim risk guidelines[R]. GEO Report No. 75, Hong Kong: Geotechnical Engineering Office, 1998.