

# 珠海发电厂地基强夯试验研究

聂栓林

(天津港湾工程研究所 300222)

**摘 要** 对珠海发电厂地基强夯试验所观测到大量的监测和检验数据进行整理分析,研究了强夯过程中,土体的孔隙水压力、深层沉降、侧向变形等的变化规律以及强夯对土体的加固效果,为强夯法在该区域的大面积应用提供了依据。

**关键词** 强夯; 监测; 检验

## 1. 概 述

珠海发电厂位于珠海西区南水半岛,十八螺嘴与石门嘴之间。总面积 60 多万  $m^2$ ,总装机容量 372 万 kW。其部分厂房将座落在开山填海形成的陆域上。回填形成的陆域,其上部回填土土质疏松,密实度低,下部淤泥含水量高,强度低。因此,为了达到使用要求,必须对该区域采取适当的方法予以加固。根据研究论证决定采用强夯法与插塑料排水板法分别对回填土和淤泥质予以加固,并在正式强夯施工前进行强夯试验。

## 2. 地质概况

该区地层自上而下分为回填土层、淤泥土层和砂质粉质粘土层。回填土层主要由粘土、砂粒、碎石及块石等组成,平均厚度 9m。淤泥土层主要由粘土、细砂砾、腐殖质及生物贝壳等组成,呈饱和,软塑~流塑状态,平均厚度 11m。砂质粉质粘土层,主要由石英砂砾、粘粒及砾石等组成,平均厚度 6m。

## 3. 试 验

### 3.1 设计要求

首先插塑料排水板,使回填土下部淤泥在回填土荷重作用下排水固结,排水板间距 1.0m,正方形布置,回填土下部淤泥在回填土荷重作用下固结度达到 80% 以上,再进行强夯,使回填土得到加固,消除残余沉降。要求加固后回填土的压缩模量  $E_s \geq 6.5 \text{MPa}$ ,承载力标准值  $f_k \geq 170 \text{kPa}$ ,淤泥土的承载力标准值  $f_k \geq 90 \text{kPa}$ 。加固后地基在 +5.0m 标高处 50kPa 附加均布荷载作用下的残余沉降  $\leq 23 \text{cm}$ , 80kPa 附加均布荷载作用下的残余沉降  $\leq 35 \text{cm}$ 。

### 3.2 试验方案

如图 1 所示,试验区的面积为  $20 \times 20 \text{m}^2$ ,试验区夯点按正方形布置,间距 4.0m。共分两遍夯,第一遍点夯分两次进行跳夯,第一次夯  $\square$  点,第二次夯  $\circ$  点,第二遍满夯。单击能量,两次点夯均为  $3000 \text{kN} \cdot \text{m}$ ,满夯单击能量为  $1000 \text{kN} \cdot \text{m}$ 。单击夯击数,第一遍点夯两次均为 15

击,第二遍夯每点2击。

### 3.3 监测及检验项目

监测项目如图1所示,主要有孔隙水压力,侧向位移,深层沉降,夯坑深度及其隆起等。检验项目主要有,室内试验,标准贯入试验,动力触探试验,十字板剪切试验,荷载板试验等。

## 4. 试验结果分析

### 4.1 孔隙水压力结果分析

如图2所示(该图只给出了夯第1、2夯时的曲线),1#孔隙水压力(埋深4.5m,与第一夯点中心水平距离

2.0m)在夯第一夯点的第一击时,都出现一个峰值孔隙水压力,夯15击则有15个孔隙水压力峰值清晰可见,其振动幅值和累积量都随夯击有所增大。当夯至第12击以后,孔压的峰值和累积量明显减小。其最大峰值达到60kPa,累积最大达到18kPa。由于该测点埋在回填土中,所以孔压振幅大累积量小。在夯第二夯点时(测点与该夯点水平距离5.0m),已间隔3小时,该测点孔压降至10kPa以下。由于该测点与夯点中心距离较远,因而孔压振动幅值很小,而且随夯击次数的增加而减小,累积量基本不变。当夯第3夯点时,与第2夯点间隔时间较短(20min),孔压有所上升,由于距离较远,所以孔压振动幅值较前又有所减小。当夯第4夯点时,由于测点与夯点中心距离9.0m,所以孔压的振动幅值更小,几乎为零。

2#孔隙水压力(埋深7.5m,与第一夯点中心水平距离2.0m)在夯第1点时,最大振动幅值接近50kPa,累积幅值达到15kPa,该点孔压与1#点孔压变化规律类似,只是由于比1#测点埋设较深,因而其孔压振动幅值略小于1#测点。

3#孔隙水压力(埋深9m,在淤泥中,与第一夯点中心水平距离2.0m)随夯击过程有明显累积,累积量大于振动幅值,最大峰值接近20kPa,累积超过15kPa,明显表示出淤泥的特性。由于该测点埋设深度大于1#和2#测点,并且处在淤泥中,因而孔压振动幅值小于1#和2#测点,而累积量相对要大一些,这与理论分析结果完全相符。在夯第3和第4夯点时,由于测点与夯点距离越来越远,所以对该孔隙水压力的影响越来越小。

4#孔隙水压力(埋深11m,与第1夯点水平距离2.0m)在夯第1点时,孔压振幅与前3测点结果相比有明显减小,但累积量相对其振幅比较显著,累积量达13kPa,小于3#点。当夯第2、3夯点时,夯击对孔压的影响甚微,其变化规律类似于3#测点。

5#孔隙水压力(测点埋深6m,与第1夯点水平距离4m),虽然埋设深度小于2#点,但由于水平距离较远,则孔压振动幅值和累积量均小于2#点,累积值小于5kPa,在夯2、3点时,随着距离的变远,孔压的振动幅值变小。

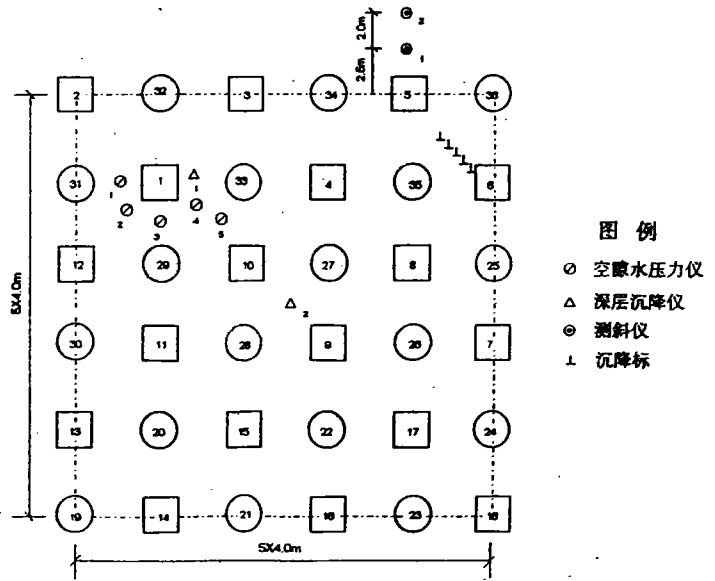


图1 夯点及监测仪器平面布置示意图

从以上 5 个测点的孔隙水压力测量结果可以得出,处在回填土中的测点,由于回填土的渗透性好,与夯击点距离较近,所以孔压振动幅值较大,而相应的累积量较小。而随测点埋设深度的增大,淤泥的渗透性小于回填土的渗透性,孔压振幅值越来越小,而累积相对增大,孔压的消散也越来越慢。随着水平距离的增大,孔压振幅和累积都随着减小,当水平距离超过 5m 时,夯击对孔压的变化影响很小。这些测量结果均附合理论分析结果。

在整个夯击过程中,孔隙水压力值均未超过其上覆土的自重应力,说明所采用的夯击能量比较合适。根据测量结果,夯击过程中,产生的孔隙水压力大小及其消散

过程与测点与夯点距离及土的渗透性有关,测点与夯点距离越近,孔隙水压力的振动幅值和累积就越大,反之就越小。当土的透水性越强,孔隙水压力的振动幅值就越大,累积量就相对越小。

回填土中孔隙水压力一般消散较快,淤泥土中的孔隙水压力测点埋设较深,夯击时孔隙水压力的增量较小,但消散时间较长。根据本试验测量结果,孔隙水压力在 7~10 天左右基本消散,故确定夯击间歇时间为 7~10 天。

#### 4.2 侧向位移观测结果及分析

如图 3 和图 4 所示,侧向位移沿深度变化曲线呈“S”形状,最大位移出现在 1<sup>#</sup>测孔的 3m 深度处,其值为 18.1cm(第 7 击),侧向位移主要发生在 8.0m 以上土层。2<sup>#</sup>测孔由于距离夯点中心较远,最大侧向位移出现在表层,其值为 6.4cm(第 15 击)。由于 1<sup>#</sup>测孔与夯点中心距离较近,故 1<sup>#</sup>测孔侧向位移大于 2<sup>#</sup>测孔。

#### 4.3 深层沉降观测结果与分析

如图 5 和图 6 所示,从 1<sup>#</sup>和 2<sup>#</sup>两测孔测得的结果来看,1<sup>#</sup>测孔只受夯第 1 点的影响,最大沉降 28.8cm,2<sup>#</sup>为夯完周围 4 个夯点的测量结果,沉降较大,为 33.2cm。影响深度都大于 10m。压缩变形主要发生在 6m~10m 之间。

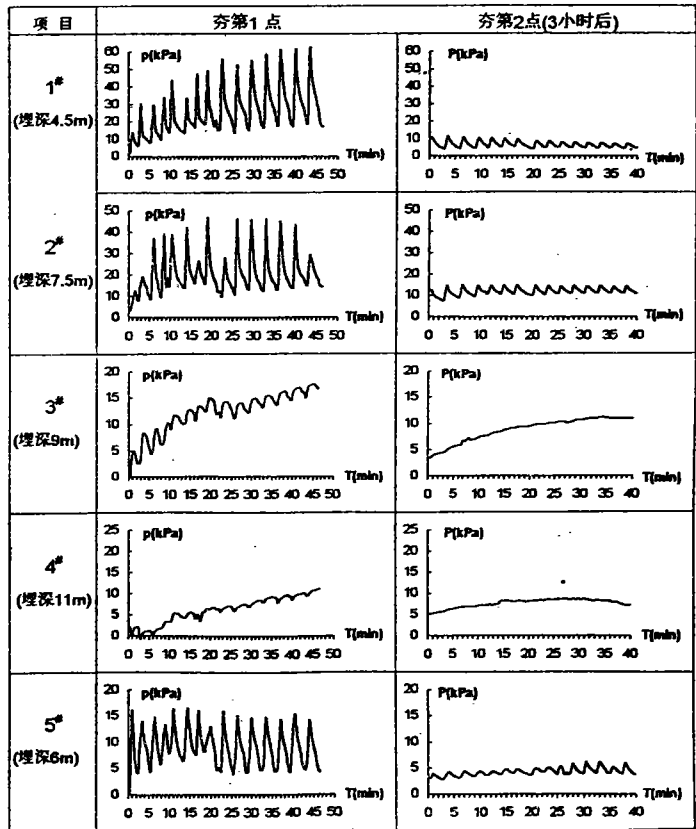


图 2 孔隙水压力过程曲线

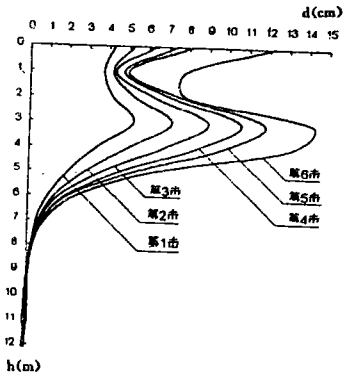


图 3 侧向位移-深度变化曲线(1#)

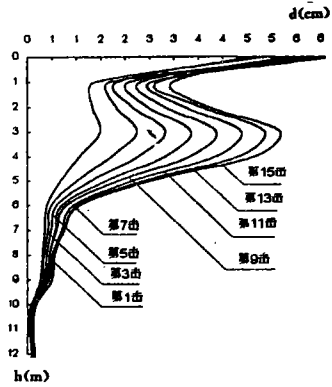


图 4 侧向位移-深度变化曲线(2#)

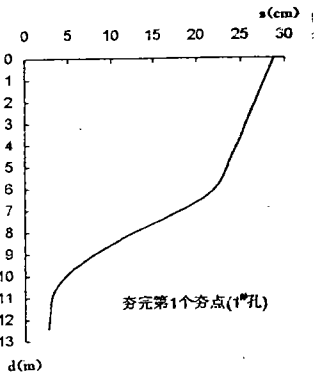


图 5 深层沉降-深度变化曲线

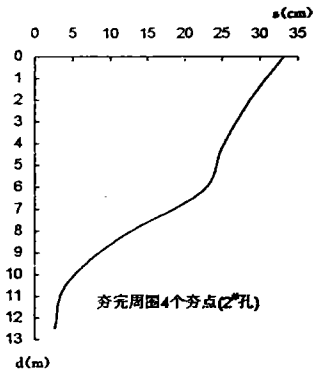


图 6 深层沉降-深度变化曲线

### 4.4 夯坑深度及其周围隆起的观测

第一次点夯的平均夯坑深度为 1.58m,第二次点夯的平均夯坑深度为 1.43m。第一次和第二次点夯的平均结果,最后两击的沉降均小于 6.0cm,沉降差小于 2.0cm。该区夯坑的最大隆起为 3.2cm,靠近夯坑边缘为下沉,最大下沉为 32.2cm,此结果与该区深层沉降结果比较相符。隆起量都很小,未出现橡皮土的现象。

经上述监测结果分析,孔隙水压力的测量结果基本反映了回填土及其下部淤泥在强夯过程中孔压增长与消散的规律,由于回填土的复杂性、其中既含有碎石又含有粘土,而且含量不均,致使回填土中孔隙水压力测量有时高有时低,消散时间有时快有时慢等现象。

根据侧向位移和深层沉降测量结果,在深 0~6m 之间的侧向压缩比较大,在平面 2.5m~4.5m 之间,侧向压缩平均为 15cm 左右;在 6~8m 深度范围内,竖向压缩比较大。由此可见选择夯点间距 4.0m,单击能量 3000kN·m,每点夯 12~15 击是比较合适的。

根据夯坑深度测量结果,第一次夯的沉降均大于第二次夯的沉降,这是由于第一次夯后,在平面 4.5m 深度 9m 范围内,回填土已经得到了一定程度的加大,夯第二次时夯坑沉降必然要小于第一次。

## 5. 检验结果与分析

### 5.1 标准贯入试验结果及分析

如图 7 所示,回填土的加固效果极为明显,强度增长幅度很大。下部淤泥层加固前还不到

1 击,加固后的击数(修正后)均大于 3 击,强度增长幅度较大。根据标贯击数求得回填土中的承载力基本值平均为 368.5kPa,下部淤泥层承载力基本值均为 150.1kPa,最小值为 107.0kPa。

## 5.2 动力触探试验结果及分析

如图 8 所示,动力触探试验,强夯后击数有很大提高,回填土中动探击数均在 22 击数以上,淤泥土中均在 4.8 击以上。回填土中平均击数为 27.3 击;淤泥土中平均击数为 6.0(每 10cm)。

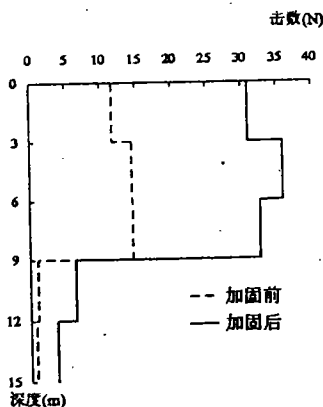


图 7 标贯击数-深度变化曲线

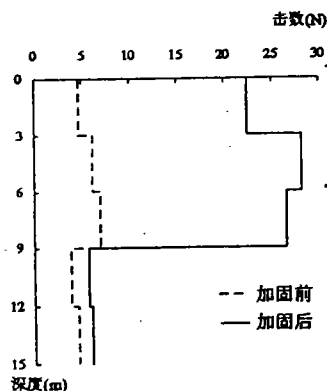


图 8 动探击数-深度变化曲线

## 5.3 荷载板试验结果及分析

1# 点(夯点上)承载力基本值大于 400kPa,压缩模量大于 39MPa,2# 点(夯点间)承载力基本值为 400kPa,压缩模量为 30MPa。

根据上述试验结果分析,按照试验中所采用的强夯参数进行施工,回填土的密实度有很大的改善,强度显著的提高,强夯加固影响深度在 9.0m 以上。

## 6. 结 论

1. 试验监测和检验结果表明,在该区域大面积强夯施工,应采用如下施工参数:

a 夯点布置:点夯夯点呈正方形布置,间距 4.0m,满夯夯点间距为夯锤直径的 0.8 倍。

b 夯击遍数:共两遍,第一遍分两次夯,第二遍为满夯。

c 单击能量:第一遍两次均为 3000kN·m,第二遍满夯能量为 1000kN·m。

d 单点夯击击数:第一遍两次均为 12~15 击(第一次夯取较高值,第二次夯可取较小值),第二遍满夯,每点 2 击,两次点夯间歇时间为 7~10 天。

2. 按上述参数进行强夯,区域地面强夯沉降约 1.20m 左右,有效加固深度 >9.0m。

3. 根据本项目监测和检验结果证明,按上述参数进行施工,各项强度技术指标均已满足设计要求,在该区域采用强夯加施插塑料排水板的方法加固回填土及其下部淤泥地基,是行之有效的。

(下转第 9 页)

3. 10m 左右乃至更深的基坑,若采用“网状结构树根桩体系”,并用低压力灌浆注密,可形成坚固的边坡体系<sup>[1]</sup>,既可支护,亦可止水。笔者以为也应是较深基坑支护的有效方法之一。

### 参 考 文 献

- 1 陈仲颐,叶书麟. 基础工程学. 中国建筑工业出版社
- 2 曾国熙等. 地基处理手册. 北京:中国建筑工业出版社,1988

## A Practice of the Vertical Root Pile in a Case of Excavation

*Dai Jianren*

(The Research Institute of Geotechnical Engineering, The First Metallurgical Construction Corp., Wuhan)

**Abstract** In this paper, a case of success use of the vertical root pile in excavation was introduced and a evaluation to such pile used as waterproof in excavation was made.

(上接 14 页)

### 参 考 文 献

- 1 地基处理手册编委会. 地基处理手册. 北京:中国建筑工业出版社,1988. 8
- 2 工程地质手册. 中国建筑工业出版社
- 3 建筑地基基础设计规范. GBJ7-89
- 4 土力学与地基基础. 天津大学出版社
- 5 谢学伦,王明煜. 珠海机场地基强夯处理研究. 土工基础,1994,8(2)

## Study of Ground Improvement by Dynamic Consolidation Test at ZhuHai Power Plant

*Nie Shuanlin*

(TianJin Port Engineering Institute 300222)

**Abstract** A lot of test data were observed by dynamic consolidation test at ZhuHai power plant. In this paper, these data were arranged and analyzed to study the laws of pore water pressure deep settlement and lateral displacement, and also study the improvement effects by dynamic consolidation. It provides test basis for the use of dynamic consolidation method in this area.

**Key words** dynamic consolidation; monitoring; checking