



# 强夯在表层填土下卧深厚淤泥地基处理中的应用

张新明, 阳平武, 程熙超

(海洋石油工程(珠海)有限公司, 广东 珠海 519055)

**摘要:** 珠海地区填海造地方法主要为围堰吹填淤泥后表层回填开山土石, 但造陆以后表层填土成分不均匀, 下卧淤泥层深厚, 地基承载力低, 不能直接利用, 必须对其进行地基处理。论述4种地基处理方法在珠海沿海表层填土下卧深厚淤泥场地的应用, 并采用载荷试验等多种方法进行检验。结果表明, 其中3种处理方法均能使表层回填土达到设计的350 kPa荷载要求, 为表层填土下卧深厚淤泥层场地地基处理的方法应用和处理效果检测提供了借鉴。

**关键词:** 下卧深厚淤泥层; 强夯; 强夯检测; 地基处理

中图分类号: U 655.54

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)10-0174-04

## Application of heavy tamping for reinforcement of ground with deep silt under filling

ZHANG Xin-ming, YANG Ping-wu, CHENG Xi-chao

(Offshore Oil Engineering (Zhuhai) Co., Ltd., Zhuhai 519055, China)

**Abstract:** Ground carrying capacity is weak to use after hydraulic reclamation at Zhuhai. So the ground should be reinforced. The article discusses four different methods for ground reinforcement. The result shows that by 3 of the methods, the ground carrying capacity could be increased to 350 kPa.

**Keywords:** deep silty under filling; heavy tamping; tamping inspection; ground reinforcement

目前珠海经营用地主要以填海为主。由于珠海入海口受海水回顶作用的影响, 在航道产生大量泥沙淤积, 而疏浚航道产生的泥沙进行吹填造地可以变废为宝。

在地基处理中, 强夯法具有设备简单、施工速度快、成本低等特点, 因此得到广泛应用<sup>[1-3]</sup>。但强夯法以处理表层粗颗粒的素填土为主, 而应用于表层填土下卧深厚淤泥层场地中尚不多见。

## 1 工程概况及地质特性

### 1.1 工程概况

拟建工程场区位于珠海市高栏港海洋工程装备制造区内, 占地207万m<sup>2</sup>。拟建物主要为厂房、办公楼、仓库、滑道、码头、堆场及附属构筑物, 设计荷载350 kPa。

### 1.2 地质特性

该区经过近期人工填海围垦, 出现地形较为平坦的陆地。地质特性如下:

1) 软弱土层深厚: 拟建场地填土层下软弱土层厚度较大且分布不均, 最大厚度达到30 m, 平均含水率 $W=59.6\%$ , 平均天然孔隙比 $e=1.59$ , 平均压缩系数 $a_{0.1-0.2}=1.42 \text{ MPa}^{-1}$ , 为高压缩性的软弱土层。

2) 填土层条件复杂: 拟建工程陆地区域填土成分不均匀, 欠固结, 主要是花岗岩、中粗砂、粉质黏土混杂。由于此层块石及碎石较多, 且厚度较大(最大厚度达到10.4 m, 平均厚度为6.29 m), 对排水板施工带来较大困难, 影响到地基处理方案的选择。

## 2 地基处理试验要求

场区地基处理目标为满足大型履带吊行走和

收稿日期: 2014-03-21

作者简介: 张新明(1959—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事港口建设管理工作。

操作等承载力要求。处理后地基承载力  $\geq 350$  kPa, 回填土压缩模量  $\geq 10$  MPa。

在正式大面积地基处理施工前, 选择 4 个有代表性的区域进行地基加固试验, 分别采用不同的地基处理方案进行地基处理。通过试验及检验, 确定施工参数, 从中找出最佳方案。

试验区 A: 面积  $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ , 采用强夯置换法。夯锤采用异形锤, 夯击能级采用  $4\ 000 \sim 6\ 000\text{ kN} \cdot \text{m}$ 。

试验区 B: 面积  $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ , 采用砂井加较低能级强夯。施工袋装砂井作为竖向排水通道, 区域内设置盲沟和砂垫层作为横向排水通道, 采用强夯进行加固, 夯击能级采用  $3\ 000 \sim 5\ 000\text{ kN} \cdot \text{m}$ , 夯击从小能级往大能级施工。

试验区 C: 面积  $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ , 采用强夯法。夯击能级采用  $4\ 000 \sim 5\ 000\text{ kN} \cdot \text{m}$ 。

试验区 D: 面积  $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ , 采用砂井加较高能级强夯。夯击能级采用  $4\ 000 \sim 6\ 000\text{ kN} \cdot \text{m}$ 。

### 3 地基检验

#### 3.1 孔压监测

孔压监测采用振弦式孔隙水压力计, 用钻孔分层埋设, 即一个钻孔中从上而下依次埋设 3 个水压力计。

通过监测得到地基处理施工过程中超孔隙水压力变化情况。根据超孔隙水压力的消散速率, 确定 2 遍施工之间的间歇时间, 以取得最佳处理效果。

从测试数据得知超孔隙水压力消散达到 80% 所需的时间为  $4 \sim 19\text{ d}$ 。其中强夯置换法孔压消散时间最少, 为  $4\text{ d}$ ; 强夯法孔压消散时间最长, 为  $19\text{ d}$ 。图 1 为试夯 C 区超孔隙水压力历时曲线。

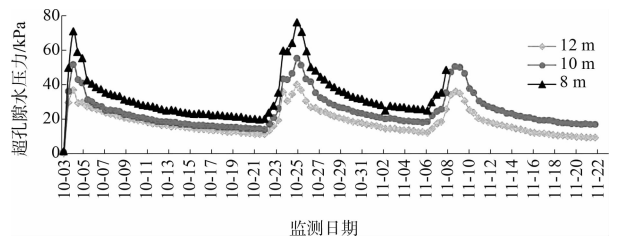


图 1 试夯 C 区超孔隙水压力历时曲线

#### 3.2 深层沉降监测

深层沉降监测采用分层沉降仪, 用钻孔埋管, 监测 B 区、D 区不同深度地基土的竖向变形量, 测试土层内离地表不同深度处的沉降或隆起。

从测试数据来看, 试夯 B 区沉降集中在  $8\text{ m}$  深度范围内,  $8\text{ m}$  范围内分层最大沉降  $11\text{ cm}$ , 最小值  $5\text{ cm}$ 。试夯 D 区沉降集中在  $10\text{ m}$  深度范围内,  $10\text{ m}$  范围内分层最大沉降  $59\text{ cm}$ , 最小值  $6\text{ cm}$ 。图 2 为试夯 D 区分层沉降变化曲线。

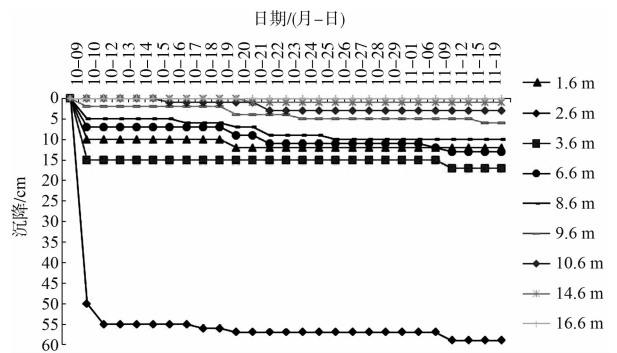


图 2 试夯 D 区分层沉降变化曲线

#### 3.3 圆锥动力触探试验

由于本场地部分回填土中含有较多的中风化花岗岩块石, 为获得有效加固深度范围内的重型动力触探数据, 重型动力触探试验配合了部分钻探工作。利用夯前、夯后重型圆锥动力触探击数, 对填土强夯地基加固效果进行评价。

现以试夯 C 区为例, 填土层夯前、夯后动力触探数据对比见表 1。

表 1 试夯 C 区填土层夯前、夯后加固效果对比

孔号	填土厚度/ m	修正击数 最大值 $N_{63.5}$	修正击数 最小值 $N_{63.5}$	修正击数 平均值 $N_{63.5}$	承载力 特征值 $f_{ak}/\text{kPa}$	推算压缩 模量 $E_s/\text{MPa}$
DB3(夯前)	0~5.2	26.1	0.9	6.3	252	<10
DB9(夯后)	0~6.6	21.9	3.7	11.7	447	>10
DB10(夯后)	0~6.2	26.5	5.0	15.2	562	>10

根据试夯 A、B、C、D 区动力触探结果可以得出, 夯前填土层承载力和压缩模量较低, 承载力在 97 ~ 252 kPa, 压缩模量小于 10 MPa。经强夯处理后, 4 个区填土层承载力均大于 350 kPa, 压缩模量大于 10 MPa, 填土层承载力和压缩模量均满足设计要求。

### 3.4 标准贯入试验

试验区软土部分采用标贯试验进行检测, 根据试验区夯前、夯后标准贯入数据与经相关规范、标准分析得到的数据和承载力建议值如表 2 所示。

表 2 试夯区标贯试验成果对比分析

区号	深度/m	夯前平均 标贯 $N$	夯后平均 标贯 $N$	承载力/ kPa
A 区	8 m 内软土	1.5	1.8	70
	8 ~ 12 m 软土	<1	1.3	60
B 区	8 m 内软土	<1	1.6	70
	8 ~ 12 m 软土	<1	2.0	70
C 区	8 m 内软土	1	1.0	60
	8 ~ 12 m 软土	<1	1.5	60
D 区	8 m 内软土	1.0		
	8 ~ 12 m 软土	1.5	1.8	70

### 3.5 多道瞬态面波检测

检测工作依据 JCJ/T 143—2004《多道瞬态面波勘察技术规程》, 采用日本 OYO 公司 McSEIS-SXW 高分辨率表面波地震仪进行测试。测点设置: 每一排列 24 道, 一个排列为 1 点, 点位在排列的中点, 排列长度与勘探深度相当。

试夯 A、C 区夯前面波各 1 点, 夯后各 2 点, 夯前夯后剪切波速对比曲线见图 3。

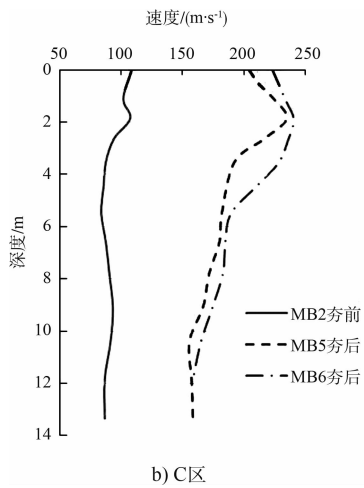
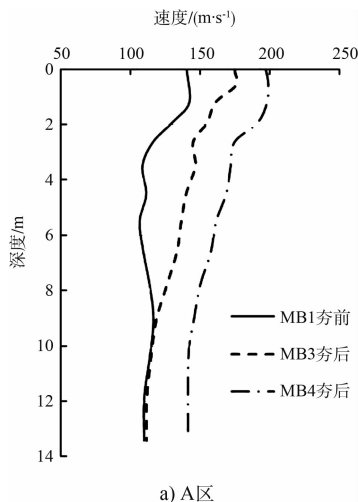


图 3 夯前、夯后剪切波速对比

从试验结果可知, A 区 8 m 深度范围内加固效果较明显, 提高幅度 30% 以上; 8 m 以下改善效果较小。C 区因填土层 (6 ~ 7 m) 较 A 区厚, 强夯对填土的加固效果非常明显; 8 m 范围内提高幅度 100% 以上, 加固效果显著。

### 3.6 载荷试验

载荷试验点 4 个, 采用分级维持荷载沉降相对稳定法 (慢速法)。静载试验的装置由承压板、加荷装置及沉降观测装置等部分组成。承压板为方形, 面积 9 m<sup>2</sup> (3 m × 3 m)。最大加载量 6 300 kN。现以试夯 C 区为例, 经资料整理, 其典型载荷试验曲线见图 4。

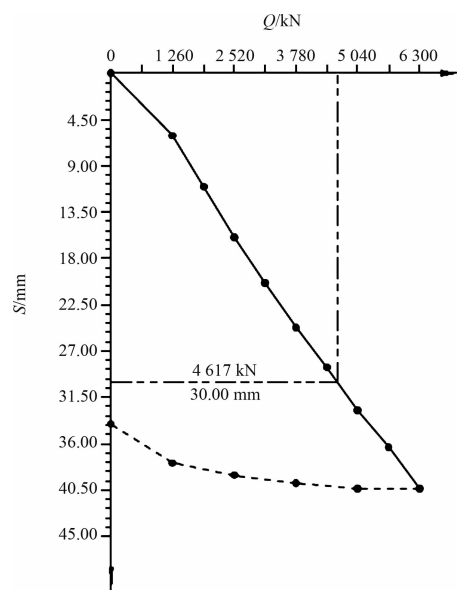


图 4 试夯 C 区载荷试验曲线

试夯 A 区静载试验, 每级荷载作用下达达到稳定标准需要的时间很长, 第 1 级到第 6 级所用的时间分别为 3、9.5、18.5、23.5、14、15 h。第 7 级加载 2.5 h 后总沉降达到 182.48 mm, 沉降量与承压板宽度已大于 0.06, 总历时 86 h。对应地基承载力特征值为 210 kPa。

试夯 B 区 ~ D 区静载试验,  $Q-S$  曲线呈缓变形, 无陡降段。对应地基承载力特征值均为 350 kPa。成果曲线为陡降型, 具有砂性土破坏特征。以沉降量  $S/d = 0.015$  确定比例界限  $P_0 = 160$  kPa (满足  $P_0 < P_u/2$ ), 变形模量  $E_0 = 12$  MPa。载荷试验承载力特征值与变形模量见表 3。

表 3 载荷试验承载力特征值与变形模量

试验区号	试验点号	特征值 $P/kPa$	$S/mm$	$E_0/MPa$
A 区	JZ1	210	30.71	17
B 区	JZ2	350	14.82	58
C 区	JZ3	350	18.47	47
D 区	JZ4	350	20.41	42

#### 4 结语

1) 国内对表层填土下卧深厚淤泥层进行地基处理的工程实例较少, 本工程通过对这种地质条件下地基处理的研究, 对工程实践进行了新的探索, 总结了新的经验。

2) 根据静载试验结果得出, 试验 A 区地基承载力特征值 210 kPa, 试验 B、C、D 区承载力特征值均为 350 kPa。综合动力触探与瑞雷波试验结果判定, 强夯对填土层处理效果显著, 填土层承载力均大于 350 kPa, 压缩模量大于 10 MPa。

3) 强夯置换法 (桩式置换) 法虽用石料对下卧淤泥进行了置换, 但加固区域仅限于夯点位置附近。由于夯点距离较大, 地基加固不均匀, 从本工程实践来看, 总体地基承载力达不到设计要求。强夯法、砂井加强夯法等进行地基加固, 总体来说对地基处理比较均匀, 因此地基承载力均达到了设计荷载 350 kPa。

4) 在表层填土下卧深厚淤泥层场地, 如表层填土厚度不少于 6 m, 直接使用强夯法对地基进行处理, 可为工程建设节约资金、缩短工期, 可取得良好的经济及社会效益。

#### 参考文献:

- [1] JGJ 79—2002 建筑地基处理技术规范[S].
- [2] 蔡波. 强夯法在处理饱和粉煤灰地基中的应用[J]. 港工技术, 2007(5): 41-43.
- [3] 林宗元. 岩土工程治理手册[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1998.

(本文编辑 郭雪珍)

## · 消 息 ·

### 港珠澳大桥沉管隧道首条大 Omega 止水带安装成功

9 月 2 日, 港珠澳大桥沉管隧道首条大 Omega 止水带 (高水压下 120 年设计使用寿命止水带) 成功安装, 安装各项指标合格, 安装质量和接驳水平得到外国专家的充分肯定。

据了解, 港珠澳大桥沉管隧道管节水密防护采用橡胶止水带止水方案, 在不同位置分别安装 GINA 止水带、中埋式止水带和两种型号的 Omega 止水带, 其中, 大 Omega 止水带安装在沉管管节接头处, 与 GINA 止水带成对使用; 小 Omega 止水带安装沉管节段接头处, 与中埋式止水带成对使用。大 Omega 止水带是保证隧道管节接头水密性的重要构件, 是沉管隧道多重保护措施中的重要一环, 在沉管隧道遭遇地震、爆炸、撞击等异常情况, 导致 GINA 止水带止水失效时, 大 Omega 发挥防水功能, 同时还兼备保护 GINA 止水带的作用。

大 Omega 止水带的顺利安装, 为后续隧道内部施工打下良好基础, 也为公司同类施工积累了重要经验。

(摘编自《中国交通新闻网》)