



# 砂桩成桩参数分析

莫日雄, 杨 胜

(中交三航局第二工程有限公司, 上海 200122)

**摘要:** 根据港珠澳大桥岛隧工程东人工岛砂桩施工管理的经验, 提出确定相关施工参数的方法, 所得参数对成桩质量起到重要作用。经检验, 成桩质量满足设计要求, 所提方法切实可行, 可供类似工程参考。

**关键词:** 砂桩; 施工参数; 工程质量

中图分类号: TU 473.1

文献标志码: B

文章编号: 1002-4972(2012)11-0194-04

## Analysis of sand pile' operation parameters

MO Ri-xiong, YANG Sheng

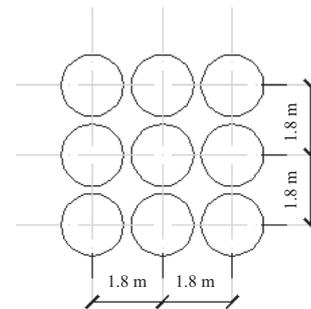
(No.2 Engineering Co., Ltd. of CCCC Third Harbor Engineering Co., Ltd., Shanghai 200122, China)

**Abstract:** According to the experience of construction management of sand piles in Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge Island and tunnel works, the paper presents the method for determining related parameters, which is very important to the pile quality. The quality of sand piles meets the design requirement by checking, and the method presented is proved feasible.

**Key words:** sand pile; operation parameter; engineering quality

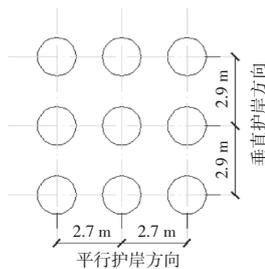
### 1 工程概况

港珠澳大桥岛隧工程东人工岛的砂桩处理区域宽度45.1~65.4 m, 桩底高程-31.0~-43.0 m。砂桩施工总体布置分为19个区域, C1~C4和C6~C19区域挤密砂桩矩形布置, 置换率25.6%, 桩底高程-31.0 m; 排水砂井位于挤密砂桩下部, 与挤密砂桩同心, 桩径1.0 m, 布置形式与挤密砂桩相同, 置换率10%。C5区域挤密砂桩置换率62.0%, 正方形布置, 间距1.8 m。桩位平面布置及断面结构如图1~2所示。

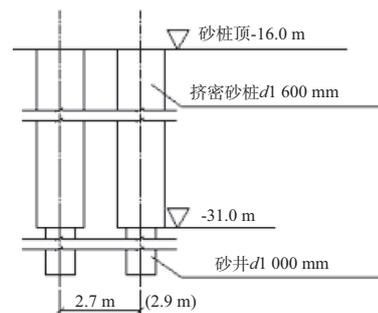


b) 正方形布置

图1 砂桩平面布置



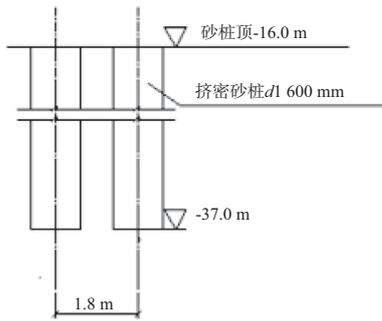
a) 矩形布置



a) 矩形桩位布置

收稿日期: 2012-04-19

作者简介: 莫日雄(1987—), 男, 助理工程师, 从事水运工程施工管理。



b) 正方形桩位布置  
图2 砂桩断面结构

设计要求: 1) 置换率25.6%区域, 平均标贯击数不小于15击; 2) 置换率62.0%区域, 平均标贯击数不小于20击; 3) 桩顶2.0 m范围内平均标贯击数不小于8击; 4) 砂料采用中粗砂, 黏粒含量不宜大于3%, 每段桩体的填料量及每根桩的填料总量不小于设计值。

## 2 施工流程

施工流程见图3。

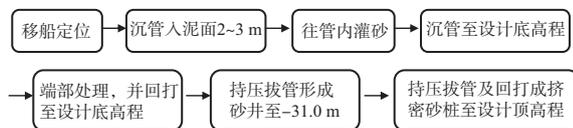


图3 施工流程

## 3 成桩参数

施工区域不同, 即水域条件不同, 地质条件差异较大, 且桩径也不同, 故在施工前 (特别是新造砂桩船) 需确定相关的施工参数, 以使成桩质量满足设计要求。

### 3.1 甲板到水面的距离

桩底高程=水面高程-桩管的入水深度, 而水面高程=船上GPS高程-船型参数GPS到甲板的距离-甲板到水面的距离。其中, 船上GPS高程由其本身可测得, 船型参数GPS到甲板的距离为造船时确定, 桩管的入水深度可由钢丝绞车的编码器根据绞车的转数及钢丝绳的滚装半径换算出钢丝绳的收、放长度而得, 故只需确定甲板到水面的距离即可实时反映桩底高程。

在施工过程中, 船舶配载基本稳定, 故影响该距离大小的主要因素是施工水域的水密度、温度。选择在施工区域的附近水域, 利用钢尺每隔1 h

测量甲板到水面的距离, 连续观测1 d, 取所测数值的平均值为甲板到水面的距离。

### 3.2 密实系数

砂料灌进桩管时为松散状态, 在管内形成的砂柱高度需考虑砂料经振动锤的振动而变密实后的体积变化率。

体积变化率的测试方法:

1) 用事先制作好的钢板将套管端部封死或将套管沉至硬土层;

2) 向套管内加入 $5.5 \text{ m}^3$ 砂料 (计量斗内安装物位传感器, 当砂料漫过该传感器时, 系统停止加砂), 砂面仪测量砂面高度并记录 $h_1$ ;

3) 启动振动锤在额定电流下运作2 min (根据韩国的P.W.Chang和美国的Y.S.Chae对砂土的研究, 在有荷载 (或侧限压力) 情况下, 振动持续2 min基本上达到最大密度<sup>[2]</sup>), 测量砂面高度并记录 $h_2$ ;

4) 打开封端钢板或拔管出水面, 排净套管内砂料;

5) 重复上述1~4步骤, 累计3次;

6) 整理记录数据并计算体积变化率 $R_v$  (取3次计算平均值):

$$R_v = V_c / [\pi D^2 (h_2 - h_1) / 4] \quad (1)$$

$$R_{v\text{均}} = \sum_{i=1}^3 R_{vi} / 3 \quad (2)$$

式中:  $V_c$ 为加入套管内松散砂料体积;  $D$ 为套管内径;  $R_{v\text{均}}$ 为平均体积变化率。

### 3.3 压强参数

管内压强的大小 ( $P$ ) 影响因素为水压 ( $H$ )、不同深度所处土层的主动土压 ( $E_a$ ) 或被动土压 ( $E_b$ )、桩管内壁与砂料的摩擦 ( $f$ )。排砂条件必须满足:

$$P \geq H + \max(E_a, E_b) + f \quad (3)$$

对地质资料<sup>[1]</sup>进行分析, 取典型土层断面 (图4) 进行压力计算, 各土层物理性质如表1所示。

结合典型施工, 经过适当调整, 成桩时套管内压强可参考表2进行控制, 挤密砂桩部分回打时压力取小值, 以防压力过大, 浪费砂料。桩头2 m范围内, 桩管将拔出泥面, 此时应适当减小管内

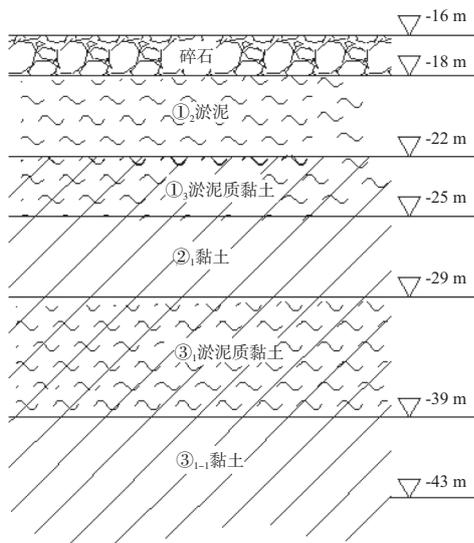


图4 典型地质断面

表1 土层物理性质<sup>[1]</sup>

高程/m	土层	厚度/ m	湿密度/ (t·m <sup>-3</sup> )	黏聚力/ kPa	摩擦角/ (°)
-16~-18	碎石	2	1.10	0	38.0
-18~-22	① <sub>2</sub> 淤泥	4	1.58	6	0.5
-22~-25	① <sub>3</sub> 淤泥质黏土	3	1.69	9	1.1
-25~-29	② <sub>2</sub> 黏土	4	1.85	34	3.7
-29~-39	③ <sub>1</sub> 淤泥质黏土	10	1.71	18	3.0
-39~-43	③ <sub>1-1</sub> 黏土	4	1.73	22	4.7

压强，以免压强过大破坏桩头及土层，具体操作见3.4节。

随着施工开展，桩管内壁将被砂料磨得光滑，即两者间的摩擦力将随着施工时间的增长而降低，需根据成桩时下砂速度的快慢再适时调整管内压强参数。

表2 打设深度与管内压强关系

深度范围/m	-16~-18	<-18~-21	<-21~-26	<-26~-31	<-31~-34	<-34~-37	<-37~-40	<-40~-43
压强/MPa	0.15~0.2	0.2	0.2~0.3	0.3~0.4	0.4~0.45	0.45~0.5	0.5~0.6	0.6~0.7

### 3.4 每个成桩循环的上拔、回打高度

挤密砂桩是通过拔管→回打多次循环，逐段形成整桩，为提高施工质量，防止砂桩缩径、确保每段桩的灌砂量不少于设计用砂量等，同时，便于规范化成桩操作，每一循环的成桩高度为1 m。而每米成桩的上拔、回打高度计算如下：

$$H = \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{\left(\frac{\pi d^2}{4}\right)} \quad (4)$$

$$A = H - 1 \quad (5)$$

式中：A为回打高度（m）；d为桩管底部内径（m）；D为扩径后砂桩直径（m）；H为上拔高度（m）。

港珠澳大桥岛隧工程东人工岛的挤密砂桩桩径为1.6 m，桩管底部内径为0.952 m（沉管后，桩管在土层中形成直径1 m的圆柱，而经管内压力挤压，管内砂料被排出时，能形成桩径1 m的砂井），则每米成桩需上拔桩管2.8 m，回打1.8 m。

桩头处理：桩顶2 m范围内成桩时，桩管需拔出土层，此时需减少管内压强，以免压强过大破坏桩头及土层；同时，最后1 m桩长需分3次完成（50 cm，30 cm，20 cm），尽量缩短桩管拔离土层的距离，以减少砂量的流失；在完成最后20 cm的桩长且桩管拔离土层50 cm后，需持压回打至土

层表面，以进一步压实桩头。

### 3.5 振动锤型号

桩管沉至设计底高程的必要条件<sup>[3]</sup>：

$$F_{\text{激振}} + \sum G \geq \sum F_{\text{侧阻}} \quad (6)$$

式中：F<sub>激振</sub>为振动锤产生的激振力；∑G为桩管自重、振动系统自重；∑F<sub>侧阻</sub>为桩周土层侧摩阻力及管内泥柱、砂柱的侧摩阻力。

故振动锤的型号需根据∑F<sub>侧阻</sub>进行选择，∑F<sub>侧阻</sub>的计算如下：

$$\sum F_{\text{侧阻}} = \sum_i p_i h_i L \quad (7)$$

式中：p<sub>i</sub>为桩周及管内各土层动摩擦力（kPa）；h<sub>i</sub>为桩周及管内各土层厚度（m）；L为桩周长（m）。

计算时需考虑的因素：

1) 沉管时管内砂料的侧摩阻力。计算该部分砂柱的侧摩阻力时，需考虑砂料的密实系数，而本工程该系数测得为1.3，沉管至设计底高程时砂料在管内形成约19 m密实砂柱。

2) 沉管至底高程时管内淤泥的侧摩阻力。据施工情况，沉管至设计底高程时管内存在约2 m泥柱。

3) 选用最深的沉管高程进行计算，即-43 m。经计算，桩侧阻力如表3所示。

表3 桩侧阻力

土层	高程/m	厚度/m	标贯 击数 <sup>[4]</sup> /击	动摩 擦力/kPa <sup>[3]</sup>	桩侧 阻力/kN
碎石	-16~-18	2	>50	50	251.3
① <sub>2</sub> 淤泥层	-18~-22	4	1	10	100.5
① <sub>3</sub> 淤泥质黏土层	-22~-25	3	1	10	75.4
② <sub>1</sub> 黏土层	-25~-29	4	13	25	251.3
③ <sub>1</sub> 淤泥质黏土层	-29~-39	10	6	20	502.7
③ <sub>1-1</sub> 黏土	-39~-43	4	9	25	408.4
管内砂柱		19	35	25	1 193.8
合计					2 783.0

经比选,本工程选用DZ500S振动锤,  $F_{\text{激振}}=2\ 400\ \text{kN}$ , 桩管及振动系统 $\sum G=800\ \text{kN}$ , 则 $F_{\text{激振}}+\sum G=3\ 200\ \text{kN} \geq \sum F_{\text{侧阻}} (=2\ 783\ \text{kN})$ , 满足施工要求, 由现场施工实况也证实了使用该振动锤, 能沉管至设计底高程达-43 m。

#### 4 成桩效果

在施工过程中, 抽选了17根桩进行标准贯入检测, 检测结果显示: 桩身连续, 砂料为密实的中粗砂<sup>[5]</sup>, 挤密砂桩桩身平均标贯击数及桩顶2.0 m范围内平均标贯击数均满足设计要求, 见表4。

表4 标准贯入检测平均击数<sup>[5]</sup> 击

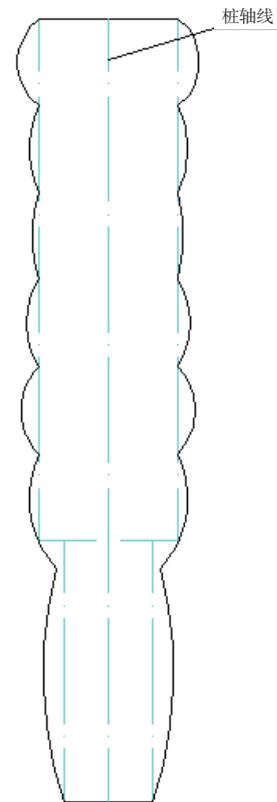
位置	最大值	最小值	平均值
桩身	38.7	27.6	34.1
桩顶2 m范围内	35.0	13.5	24.5

注: 含置换率为62.0%区域。

由成桩原始记录可知, 除了个别硬土层难以扩径至1.6 m (但满足设计的停止扩径标准——回打扩径速率小于0.05 m/min, 且连续回打3 min以上仍小于该速率), 每米挤密砂桩桩体的灌砂量均不小于设计灌砂量 $2.01\ \text{m}^3$ , 所成桩径范围为1.6~1.9 m (若土层较软或管内压力过大, 每米灌砂量将更大, 形成桩径可达2.0 m)。回打成桩过程中, 每段桩体的中部桩径最大, 成桩后的桩形如图5所示。

#### 5 结语

成桩质量主要体现在桩底高程、桩径及桩身标准贯入击数, 本文所提及的施工参数均对成桩质



注: 实线为实际桩形, 虚线为理论桩形。

图5 成桩后的桩形

量起到重要作用, 如: 水面到甲板的距离和振动锤的型号决定桩底高程; 密实系数、压强参数及每个成桩循环的上拔、回打高度决定桩径及桩身标准贯入击数。经成桩检验, 文中所涉及相关参数的确定方法可行有效, 可供类似工程参考。

#### 参考文献:

- [1] 中交第四航务工程勘察设计院有限公司. 港珠澳大桥岛隧工程东人工岛地质勘察报告[R]. 广州: 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 2011.
- [2] Chang P W, Chae Y S. A parametric study of effect of vibration on granular soils[J]. Liquefaction of Soils, 1986(2): 137-146.
- [3] 徐维钧. 桩基施工手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
- [4] JTJ 240—1997 港口工程地质勘察规范[S].
- [5] 上海港湾工程质量检测有限公司. 港珠澳大桥东人工岛砂桩检测报告[R]. 上海: 上海港湾工程质量检测有限公司, 2011.

( 本文编辑 武亚庆 )