

# Application of Air Curtain Relief Method in Bucket Breakwater Construction

Yan Zhuang Youxian Du

China Communications Third Aviation Engineering Bureau Co., Ltd., Lianyungang, Jiangsu, 222042, China

**【Abstract】** Relying on the ocean mountain deep water port breakwater project, combined with the site construction area is uneven silty clay, sand soil geological conditions, and the characteristics of deep depth, through the actual engineering practice and exploration, summarizes the sinking of bucket breakwater air curtain construction key technology, in order to accumulate relevant experience for bucket breakwater sinking construction.

**【Keywords】** air curtain; barrel type anti-wave; lift bucket body sinking

## 空气幕助沉法在桶式防波堤施工中的应用

庄严 杜友先

中交第三航务工程局有限公司江苏分公司, 中国·江苏 连云港 222042

**【摘要】** 依托上海洋山深水港防波堤工程项目, 结合现场施工海域多为不均匀的粉质粘土、砂类土的地质条件, 且下沉深度较深的特点, 经过实际工程的实践和探索, 总结了桶式防波堤空气幕法下沉施工关键技术, 以期对桶式防波堤下沉施工积累相关经验。

**【关键词】** 空气幕; 桶式防波堤; 桶体下沉

DOI: 10.12345/gcjsygl.v6i16.11844

### 1 引言

目前国际海上防波堤桶体在下沉安装时, 大多数是依靠基础桶体的自重, 利用其下端刃脚破开土层, 使桶体部分沉入土层中形成相对密封空间, 然后通过预埋抽气管道抽取桶体内各个隔仓的气体, 利用桶体内部和外部的压力差, 使下桶体逐步沉入至海床内设计深度以完成桶体安装。该方法适用于淤泥质条件且下沉深度较浅的情况, 但是当遇到粉质粘土、砂类土硬夹层或不均匀的地质, 下沉深度较深的情况, 该方法难以使桶体下沉至指定标高。

论文立足于上海国际航运中心洋山深水港区小洋山北作业区防波堤工程, 针对该海域岩土层多为淤泥粉质粘土、粉细砂的地质条件, 以及桶体下沉深度要求较深的工况。对一种桶式防波堤空气幕减阻助沉施工技术进行探讨。

### 2 工程概况

小洋山北作业区防波堤工程结构方案采用桶式基础结构防波堤, 由多组桶式基础结构单元排列组成。每一组结构单元由一个下桶体和上桶体组成, 下桶主尺寸为  $36.6\text{ m} \times 20\text{ m} \times 10\text{ m}$ 。桶壁厚  $400\text{ mm}$ , 下桶顶盖板厚  $500\text{ mm}$ , 桶内通过隔板划分 12 个隔

舱, 隔板厚  $300\text{ mm}$ 。上桶体尺寸为  $20\text{ m} \times 13.6\text{ m} \times 9\text{ m}$ , 桶壁厚  $400\text{ mm}$ 。所有桶体均在预制场内进行预制施工, 通过半潜驳运输至指定海域进行下沉安装。

### 3 施工工况特点

本工程位于中国东部沿海长江口与杭州湾交界处崎岖列岛海区小洋山北侧, 东向至北向为较开阔的海域, 西北向距陆地也有一定距离。洋山海区属于属亚热带季风性气候, 全年受冬夏季风影响, 四季分明, 夏热气温较高且降水充沛, 冬季寒冷潮湿。作业区水域涨、落潮平均流速约  $0.56\text{ m/s} \sim 0.86\text{ m/s}$ , 最大流速约  $1.01\text{ m/s} \sim 1.53\text{ m/s}$ 。根据地勘报告显示, 施工区域海床浅部主要存在的地基土层有灰黄色淤泥质粉质黏土、灰色黏土、灰黄色粉质黏土、灰黄色粉细砂, 且存在地质不均匀夹杂硬质土层的现象。防波堤桶体在下沉过程中需穿越淤泥及淤泥质粉质黏土层。综上所述该施工区域海床地质条件较差, 土层在外部荷载作用下易发生沉降、变形, 桶体下沉过程中在地质分布不均匀的区域易出现下沉困难、偏移等现象<sup>[1]</sup>。

### 4 空气幕减阻助沉施工方法

#### 4.1 桶体下沉系数计算

桶体下沉过程中, 必须克服桶体外壁与土间摩阻力(此处不考虑地层对底脚的反力), 桶体自重与桶体外壁摩阻力的比值称为下沉系数  $K$ 。通常按

**【作者简介】** 庄严 (1991-), 男, 中国江苏连云港人, 工程师, 从事港口航道工程研究。

下式计算：

$$K = \frac{Q}{T}$$

式中

Q—桶体自重 (kN)

T—下桶体外壁与土间摩阻力 (kN)，通常按

下式计算：

$$T = Lhf$$

式中

L—下桶体外周长 (m)

h—下桶体终沉深度 (m)

f—下桶体外壁与土层的摩擦力 (kN/m<sup>2</sup>)

根据地质勘察资料，本工程在计算中取 f=14kN/m<sup>2</sup>；

本工程桶体混凝土总方量约 1485 m<sup>3</sup>，钢筋混凝土重度取=25kN/m<sup>3</sup>，该桶体总重力为 37125kN。

$$K = \frac{Q}{T} = \frac{Q}{Lhf} = \frac{37125}{347.2 \times 10 \times 14} = 0.76$$

经计算桶体下沉系数 K 为 0.76，该数值越小则代表桶体下沉越困难，通常使用的防波堤桶体下沉

系数平均值在 1.15~1.25 之间。结合本工程施工海域的地质情况，在桶体下沉施工中采用空气幕减阻助沉法来辅助桶体下沉。

#### 4.2 桶体空气幕系统布置

空气幕减阻助沉系统及其施工方法，其特点是通过预埋在下桶体外壁中的纵横气管向气龕进行送风，气龕内单向出气的橡胶皮环向桶壁外喷射气流，气流沿外壁上升，带动桶体外壁周围土颗粒翻滚，使得桶体周围的砂类土发生液化，粘性土则形成泥浆薄膜，从而达到减小土体对桶壁表面摩擦力的目的，使桶体顺利下沉。

##### 4.2.1 桶壁预埋管路

桶壁内预埋管布置有预埋横向支管和预埋竖管。预埋横向支管和预埋竖管均采用  $\phi 20\text{mm}$ PVC 管，水平管是为纠偏而设，若干组预埋横向支管预设在桶体直线段外壁内，相邻两根预埋横向支管通过三通与一根竖向预埋竖管相连，预埋横向支管上开有  $\phi 3\text{mm}$  的喷气孔，下沉施工前进行压气试验，检查各个气孔是否通畅。

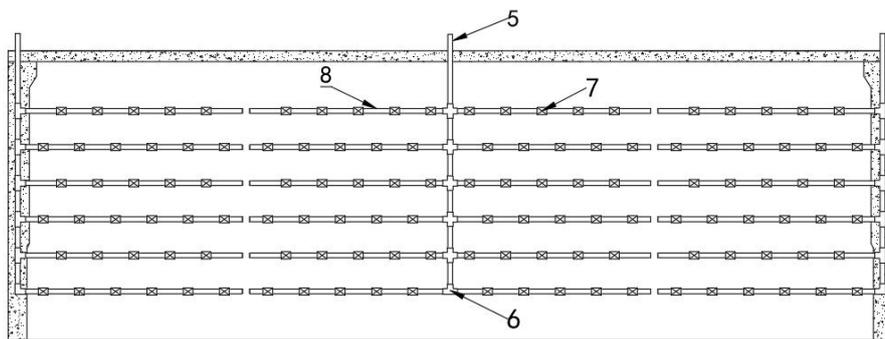


图 1 空气幕减阻助沉系统管路及气龕立面布置图

图中 5-预埋竖管，6-三通，7-气龕，8-预埋横管

##### 4.2.2 气龕安装

气龕是空气幕减阻助沉系统的关键设施，它直接决定空气幕的实施效果以及桶体的下沉质量。气龕是一种预设在桶体外壁上的倒梯形凹槽，空气幕出气孔便位于气龕正中央，气龕对喷气孔有保护作用，并有利于喷气孔射出的高压气体扩散，沿桶体外壁上升，形成均匀完整的气幕。常见的气龕形状有圆锥形、倒梯形。本工程采用倒梯气龕。气龕均匀设置在桶体外壁的混凝土表层内，相邻两层气龕交错布置，气龕在离桶体底部 2 m 处开始布置，在水平方向以及垂直方向均按照 1.5 m 间距预埋设置。为便于调节气压和纠偏，全部气龕沿桶体周向划分为 4 个组，每组均有独立的开关阀门、气压表以及预埋竖管供气。

##### 4.2.3 压风设备及总管安装

空气幕减阻助沉系统在桶体安装平台上设置了一套压风设备，压风系统决定着空气幕的出气量以及出气效果。它是由压风机、储气罐、气压表、阀门、壁中预埋竖管、气龕、壁中预埋横向支管等部分组成。压风机是提供高压气体的设备，储气罐贮存高压气体，防止压力骤然降低，影响压气效果，起到稳定风压的作用。

桶体供气预埋竖管共计 4 根，供气预埋竖管与储气罐相连，分别布置在桶体的直线段及圆弧段。通过三通连接到每组供气系统的预埋横向支管，在每组供气系统上均设有阀门和气压表，以便独立调节气压，通过每组供气系统的不均衡供气来达到纠偏下沉的效果。

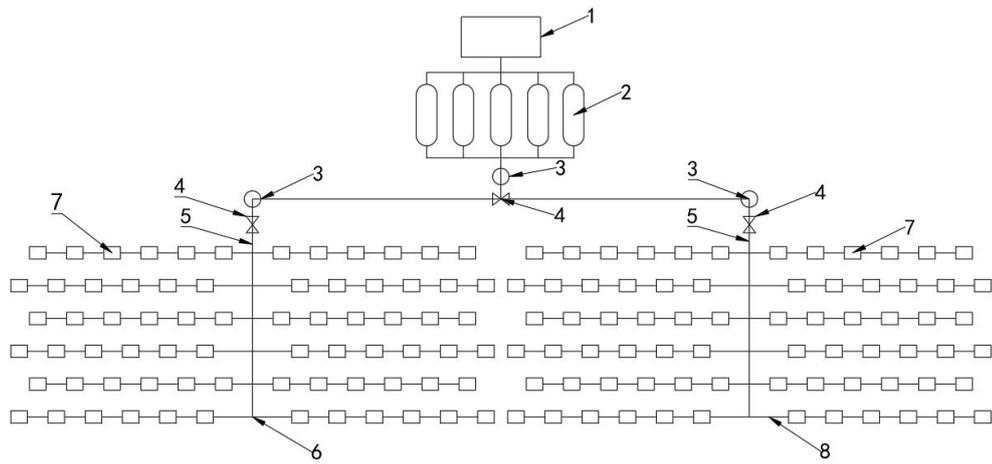


图2 空气幕减阻助沉系统压风系统布置图

图中 1-压风机, 2-储气罐, 3-压力表, 4-阀门, 5-预埋竖管, 6-三通, 7-气室, 8-预埋横管

#### 4.2.4 防堵措施

空气幕减阻助沉系统在使用过程中, 由于气室直接与周围土体接触, 在关闭或减弱供气的阶段, 泥沙极易堵塞气室内的气孔, 将极大影响空气幕系统的应用效果。为解决气孔堵塞问题, 本工程采用了两种防堵措施, 一是在喷气孔上安装单向橡胶皮环防止堵塞, 从源头尽量避免泥沙进入供气系统, 二是在气管两端设置泥沙沉淀筒, 使进入的泥沙被收集起来, 减小对供气系统的影响。

#### 4.3 桶体空气幕系统助沉

防波堤桶体在预制场地内预制完成并达到预定强度后, 采用气囊及刚底托, 通过上船通道将其搬运至半潜驳上, 上船作业完成后, 由半潜驳运送到下沉施工海域。

当防波堤桶体运输至指定位置并通过 GPS 精确定位后, 开启浮运气囊阀门放气使桶体下沉, 浮运气囊放气完毕后拆除气囊, 接着打开桶体各隔舱的放气阀门缓慢放气, 使桶体继续下沉, 当桶体下沉至距海床泥面 30 cm 时, 关闭排气阀门停止放气作业, 测量人员通过安装在上桶体的四个 GPS 测量点再次确认桶体结构位置满足设计要求后, 打开排气阀门排气使得下桶体进入海床泥层。

随着桶体开始入土, 桶体依靠自重克服底脚反力及外壁周边摩阻力而下沉。但由桶体下沉系数的分析可知, 当桶体进入更深更坚硬的土层后, 仅靠自重下沉已经很困难, 本工程施工中采用空气幕法助沉, 当桶体入泥一定深度后, 随即启动压风机, 通过从预埋横向支管上的喷气孔内喷出的气体沿桶壁向上快速运动, 形成一层均匀完整的气幕, 减小由于土层压力所形成的桶体侧壁摩阻力, 提高下沉

系数, 协助桶体下沉, 通过操作平台四个角上的 GPS 数据收集器, 获得桶式构件的位置情况, 下沉期间每 10~20 min 测量一次桶体位置, 当桶体进入终沉阶段时, 及时关闭空气幕以免造成桶体超沉。

#### 4.4 桶体空气幕系统纠偏

桶体在下沉过程中遇到不均匀的地质条件容易发生倾斜, 空气幕减阻助沉系统通过分组设置的预埋横向支管, 有针对性地关闭部分阀门, 进行局部压力调节, 减少或增加气体从气室中地喷出量, 单边破坏桶体外壁摩阻力, 使桶体处于两侧外壁摩阻力不均衡状态, 从而达到纠偏效果。桶体下沉安装过程中, 在上桶体四个角安装有 GPS 数据收集器, 实时测量桶体下沉过程以及终沉后的偏差数据, 并汇总分析。试验桶安装测量结果表明, 四个测量点最大偏差数值为 61 mm, 符合规范及设计要求。通过数据分析表明, 空气幕系统纠偏效果良好<sup>[2]</sup>。

#### 5 结语

桶式防波堤空气幕减阻助沉施工方法的成功实施, 可填补复杂地质条件下防波堤桶式下沉施工的相关技术的空白, 并对以后类似的施工奠定良好技术基础, 并且促进了该领域相关技术的成熟, 能够大幅提高施工进度, 降低成本, 在施工安全、质量、经济性、效率较国际同类技术水平相比均有很大优势。

#### 参考文献

- [1] 沈雪松, 蔡正银, 关云飞. 新型桶式基础结构关键技术研究[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
- [2] 李武, 夏俊桥. 连云港港徐圩港区桶式防波堤工程设计与施工[M]. 南京: 河海大学出版社, 2017.